

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-258090

(43)Date of publication of application : 12.09.2003

(51)Int.Cl.

H01L 21/768
H01L 21/3065

(21)Application number : 2002-054304

(71)Applicant : FUJITSU LTD
TOKYO ELECTRON LTD

(22)Date of filing : 28.02.2002

(72)Inventor : KUDO HIROSHI
INASAWA KOICHIRO

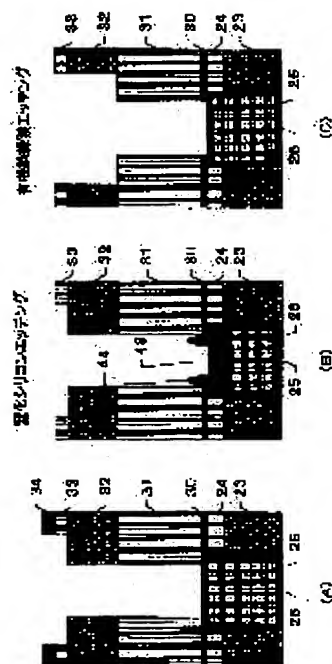
(54) METHOD FOR MANUFACTURING SEMICONDUCTOR DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent bowing and digging by a dual damascene method.

SOLUTION: Silicon nitride etching is performed as shown in Fig. 2 (B) for a semiconductor device in a manufacturing process which has a sectional structure shown in Fig. 2 (A).

Consequently, a portion of a copper film 26 is oxidized into oxide 43, and CFX deposits 44 grow thereupon. As shown in Fig. 2 (C), an organic insulating film is etched by using hydrogen plasma to reduce the oxide 43 into copper, and the CFX deposits are converted into a volatile compound for removal.



BEST AVAILABLE COPY

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 21.02.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-258090

(P2003-258090A)

(43) 公開日 平成15年9月12日 (2003.9.12)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコード* (参考)
H 0 1 L 21/768		H 0 1 L 21/90	Λ 5 F 0 0 4
21/3065		21/302	Λ 5 F 0 3 3

審査請求 未請求 請求項の数10 ○L (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2002-54304(P2002-54304)

(22) 出願日 平成14年2月28日 (2002.2.28)

(71) 出願人 000003223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(71) 出願人 000219967

東京エレクトロン株式会社

東京都港区赤坂五丁目3番6号

(72) 発明者 工藤 寛

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100092152

弁理士 服部 毅彦

最終頁に続く

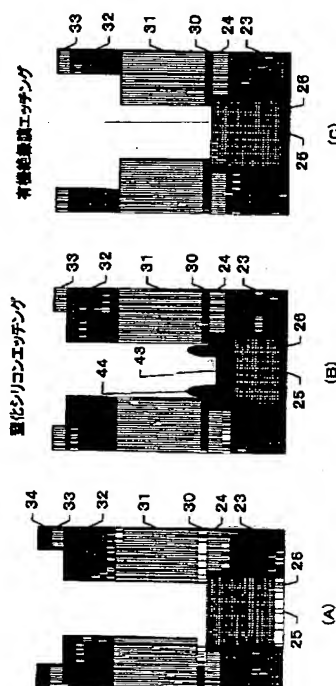
(54) 【発明の名称】 半導体装置の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 デュアルダマシン法において、ボーイングおよび掘られの発生を防止する。

【解決手段】 図2(A)に示すような断面構造を有する製造過程の半導体装置に対して、図2(B)に示すように窒化シリコンエッチングを施す、その結果、銅膜26の一部が酸化されて酸化物43に変化し、また、その上にはCF_xデポ物44が堆積する。しかし、図2

(C)において、水素プラズマを用いて有機絶縁膜エッチングをすることにより、酸化物43を銅に還元し、また、CF_xデポ物を揮発性の化合物に転換することにより、除去することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板上に、キャップ膜、第1の絶縁膜、有機絶縁膜、第2の絶縁膜、マスク材を順に形成する工程と、

前記マスク材を部分的にエッチングして配線パターン形状をもつ第1の開口を形成する工程と、

前記第2の絶縁膜のうち前記第1の開口の一部に重なる部分をエッチングしてビアパターン形状をもつ第2の開口を形成する工程と、

前記第2の絶縁膜の前記第2の開口を通して前記有機絶縁膜をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第3の開口を前記有機絶縁膜に形成する工程と、

前記マスク材の前記第1の開口を通して前記第2の絶縁膜をエッチングすることにより、前記配線パターン形状を有する第4の開口を前記第2の絶縁膜に形成すると同時に、前記有機絶縁膜の前記第3の開口を通して前記第1の絶縁膜をエッチングすることにより前記ビアパターン形状を持つ第5の開口を前記第1の絶縁膜に形成する工程と、

前記第1の絶縁膜の前記第5の開口を通して前記キャップ膜をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第6の開口を前記キャップ膜に形成して、該第6の開口と前記第5の開口をビアホールとして適用すると同時に、前記マスク材を除去する工程と、

前記第2の絶縁膜の前記第4の開口を通して前記有機絶縁膜をエッチングして前記配線パターン形状をもつ第7の開口を前記有機絶縁膜に形成し、該第7の開口と前記第4の開口を配線溝として適用する工程と、

前記ビアホールと前記配線溝に同時に導電体を埋め込むことにより、前記ビアホール内にビアを形成するとともに前記配線溝内に配線を形成する工程と、を有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項2】 前記第7の開口は、水素 (H_2) ガスもしくはアンモニア (NH_3) ガスまたはこれらの混合ガスによるプラズマエッチングによって形成されることを特徴とする請求項1記載の半導体装置の製造方法。

【請求項3】 前記有機絶縁膜に形成された前記第7の開口の側壁間の最大幅を $W2$ とし、前記第2の絶縁膜に形成された前記第4の開口の側壁間の最大幅を $W1$ とした場合に、 $W1 \geq W2$ の関係が成立することを特徴とする請求項1記載の半導体装置の製造方法。

【請求項4】 前記 $W1$ と前記 $W2$ との間には、 $(W2 - W1) / 2 \leq 10 \text{ nm}$ の関係が成立することを特徴とする請求項3記載の半導体装置の製造方法。

【請求項5】 前記マスク材および前記キャップ膜は、窒化シリコンまたは炭化シリコンによって構成されていることを特徴とする請求項1記載の半導体装置の製造方法。

【請求項6】 前記有機絶縁膜は、炭化水素系ポリマー、アリルエーテル系ポリマー、有機 SOG、無機 SO

Gまたはシリコンオキシカーバイト (SiOC) の何れかによって構成されていることを特徴とする請求項1記載の半導体装置の製造方法。

【請求項7】 半導体基板上に、キャップ膜、有機絶縁膜、絶縁膜、マスク材を順に形成する工程と、

前記マスク材を部分的にエッチングして配線パターン形状をもつ第1の開口を形成する工程と、

前記絶縁膜のうち前記第1の開口の一部に重なる部分をエッチングしてビアパターン形状をもつ第2の開口を形成する工程と、

前記絶縁膜の前記第2の開口を通して前記有機絶縁膜をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第3の開口を前記有機絶縁膜に形成する工程と、

前記マスク材の前記第1の開口を通して前記絶縁膜をエッチングすることにより、前記配線パターン形状を有する第4の開口を前記絶縁膜に形成する工程と、

前記有機絶縁膜の前記第3の開口を通して前記キャップ膜をエッチングすることにより、前記ビアパターン形状を有する第5の開口を前記キャップ膜に形成し、該第5の開口と前記第3の開口をビアホールとして適用すると同時に、前記マスク材を除去する工程と、

前記絶縁膜の前記第4の開口を通して前記有機絶縁膜をエッチングすることにより、前記配線パターン形状を有する第6の開口を前記有機絶縁膜に形成し、該第6の開口と前記第4の開口を配線溝として適用する工程と、

前記ビアホールと前記配線溝に同時に導電体を埋め込むことにより、前記ビアホール内にビアを形成するとともに前記配線溝内に配線を形成する工程と、を有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項8】 前記第6の開口は、水素 (H_2) ガスまたはアンモニア (NH_3) ガスによるプラズマエッチングによって形成されることを特徴とする請求項7記載の半導体装置の製造方法。

【請求項9】 半導体基板上に、キャップ膜、第1の有機絶縁膜、第1の絶縁膜、第2の有機絶縁膜、第2の絶縁膜、マスク材を順に形成する工程と、

前記マスク材を部分的にエッチングして配線パターン形状をもつ第1の開口を形成する工程と、

前記第2の絶縁膜のうち前記第1の開口の一部に重なる部分をエッチングしてビアパターン形状をもつ第2の開口を形成する工程と、

前記第2の絶縁膜の前記第2の開口を通して前記第2の有機絶縁膜をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第3の開口を前記第2の有機絶縁膜に形成する工程と、

前記第2の有機絶縁膜の前記第3の開口を通して前記第1の絶縁膜をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第4の開口を前記第1の絶縁膜に形成する工程と、前記第1の絶縁膜の前記第4の開口を通して前記第1の有機絶縁膜をエッチングして前記ビアパターン形状を

もつ第5の開口を前記第1の有機絶縁膜に形成する工程と、

前記マスク材の前記第1の開口を通して前記第2の絶縁膜をエッチングして前記配線パターン形状をもつ第6の開口を前記第2の絶縁膜に形成する工程と、

前記第1の有機絶縁膜の前記第5の開口を通して前記キャップ膜をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第7の開口を前記キャップ膜に形成し、該第7の開口と前記第4の開口および前記第5の開口をビアホールとして適用すると同時に、前記マスク材を除去する工程と、

前記第2の絶縁膜の前記第6の開口を通して前記第2の有機絶縁膜をエッチングして前記配線パターン形状をもつ第8の開口を前記第2の有機絶縁膜に形成し、該第8の開口と前記第6の開口を配線溝として適用する工程と、

前記ビアホールと前記配線溝に同時に導電体を埋め込むことにより、前記ビアホール内にビアを形成するとともに前記配線溝内に配線を形成する工程と、を有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項10】 前記第8の開口は、水素 (H_2) ガスまたはアンモニア (NH_3) ガスによるプラズマエッチングによって形成されることを特徴とする請求項9記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は半導体装置の製造方法に関し、特に、デュアルダマシン法により多層配線構造の配線層及びビアを形成する工程を含む半導体装置の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、半導体装置の微細化に伴って配線の幅が狭くなり、しかも配線同士の間隔が狭くなってきている。このため、配線抵抗が増加するとともに配線による寄生容量が増加し、これが信号速度を遅延させることになり、スケールリング則に沿った半導体装置の高速化を妨げることになる。

【0003】 このような状況から、配線間の寄生容量と配線抵抗を減少させるために、多層配線の形成方法と絶縁材料および金属配線材料の見直しが必要となっている。配線容量を小さくするには誘電率の小さい絶縁材料が有効であり、また、金属配線の材料の選択についても、配線抵抗を小さくするために、アルミニウム (Al) から抵抗率の低い銅 (Cu) へと移行している。

【0004】 銅膜の加工は、従来のドライエッチングを適用することが困難であることからダマシン法が用いられる。ダマシン法を大別するとシングルダマシン法とデュアルダマシン法がある。シングルダマシン法は、下側配線と上側配線の間を結ぶプラグ (ビア (via)) の形成と配線の形成とを別々の工程とする方法であり、

デュアルダマシン法は、配線とプラグを同時に形成する方法である。

【0005】 半導体装置の配線層は微細化にともなって多層化が進んでおり、例えば、デザインルール0.18 μm 世代の半導体装置では配線数が6層におよぶ。この場合、シングルダマシン法では、例えば、類似した工程を12回 (配線形成6回とプラグ形成6回) 繰り返して形成されるのに対して、デュアルダマシン法では、類似した工程を6回繰り返すだけで済む。

【0006】 デュアルダマシン法がシングルダマシン法の半分の工程数で済むのは、上述したように配線とプラグを同時に形成できるためである。従って、生産コストを抑え、生産効率を高めるためには、デュアルダマシン法が有利である。更に、デュアルダマシン法は、下層の配線とこれに接続されるプラグとのコンタクト抵抗が低いために、それらの接触不良を回避することが容易であり、配線の信頼性がより高まる。

【0007】 図20～図24は、従来のデュアルダマシン法による半導体装置の製造方法を示す図である。先ず、図20(A)～(C)に基づいて、下側配線層の上に複数の絶縁膜および金属膜等を形成する。なお、下側配線層については、以下のような手続きで作成する。

【0008】 先ず、シリコン基板21の上にシリコン酸化膜 (SiO₂膜) 22、有機絶縁膜23およびシリコン酸化膜24を形成する。ここで、シリコン酸化膜22とシリコン酸化膜24はプラズマCVD法により、それぞれ、200nmの厚さと100nmの厚さに形成されている。

【0009】 また、有機絶縁膜23は、例えば、低誘電率絶縁材料であるアライドシグナル社製の商品名FLARE2.0をスピンコートにより400nmの厚さに形成したものである。商品名FLARE2.0は芳香族系のポリマーであり、その誘電率は2.8であってシリコン酸化膜の誘電率4.1よりも低く、しかも耐熱性は400℃以上である。ここでは、有機絶縁膜23としてFLARE2.0を用いたが、ダウケミカル社製の炭化水素系ポリマーである商品名SiLKなどを用いることも可能である。また、有機絶縁膜23としてその他の炭化水素含有樹脂、フッ素含有樹脂、シリコンオキシカーバイトなどを用いてもよい。

【0010】 このようにして形成された有機絶縁膜23とシリコン酸化膜24に対して、第1の配線層を形成するために、先ず、シリコン酸化膜24に感光性ポリマーであるフォトレジスト膜を塗布し、露光および現像プロセスにより配線パターン用の窓を形成する。そして、この窓を通じてシリコン酸化膜24にプラズマエッチング法等によるエッチングにより配線パターン形状の開口を作成する。次に、有機絶縁膜23のうちシリコン酸化膜24の配線用開口から露出している部分をプラズマエッチング法により除去して配線パターン形状の開口を形成

する。なお、有機絶縁膜23のエッチングは、 O_2 ガスとArガスを導入した雰囲気において行なわれる。この場合のエッチャントは酸素であるために、有機絶縁膜23とフォトレジスト膜はシリコン酸化膜22、24に対して選択的にエッチングされ、シリコン酸化膜24はエッチングされない。しかし、フォトレジスト膜は酸素によってエッチングされるので、有機絶縁膜23のエッチングに並行してフォトレジスト膜を除去することができ

【0011】以上のようなパターニング処理によって形成されたシリコン酸化膜24の開口と有機絶縁膜23の開口とによって第1の配線層の配線溝が構成される。有機絶縁膜23の開口とその上のシリコン酸化膜24の開口は上下に重なっているため、これらは第1の配線層の配線溝となる。

【0012】次に、以上のようにして形成された配線溝の内面とシリコン酸化膜24の上面に、高融点金属としてTiN又はTa₂Nよりなるバリアメタル膜25をスパッタリングにより50nmの厚さで成膜し、続いて、バリアメタル膜25上に銅(Cu)膜26を同様にスパッタリングにより800nmの厚さで成膜する。

【0013】その銅膜26の上面には凹凸が生じるので、これを平坦化するために、0.1 Torr 圧力の水素ガス雰囲気、400℃、5分間の条件でアニール処理を行う。このアニール処理後には、配線溝内には銅膜26が完全に埋め込まれた状態となる。

【0014】続いて、化学機械的研磨法(CMP法)を用いて銅膜26を研磨し、配線溝内だけに銅膜26を残し、これを第1の配線層とする。以上の処理により、図20(A)に示す構造を得る。

【0015】次に、図20(B)に示すように、銅膜26およびシリコン酸化膜24の上に以下に述べるような複数の絶縁膜、金属膜などを形成する。即ち、銅膜26とシリコン酸化膜24の上に、膜厚50nmの窒化シリコン膜30、膜厚600nmのシリコン酸化膜31をそれぞれプラズマCVD法により形成する。また、シリコン酸化膜31の上に有機絶縁膜32をスピコートにより400nmの厚さに形成する。この場合、有機絶縁膜32として、有機絶縁膜23に用いられる上記した材料のいずれかを選択する。

【0016】続いて、有機絶縁膜32上にプラズマCVD法によりシリコン酸化膜33を100nmの厚さに形成する。更に、シリコン酸化膜33の上に膜厚100nmの窒化シリコン膜34をプラズマCVD法により形成する。

【0017】以上のような膜の形成を終えた後に、図20(C)に示すように、窒化シリコン膜34の上にフォトレジスト35を塗布し、これを露光し、現像して窓を形成する。そして、フォトレジスト35をマスクとして用いるフォトリソグラフィ法により窒化シリコン膜3

4に第2の配線層に相当する形状を有する配線用開口34aを形成する(図21(D)参照)。

【0018】次に、図21(D)に示すように、フォトレジスト35を酸素プラズマによってアッシングし、これを除去する。次に、図21(E)に示すように、窒化シリコン膜34の上とその開口34aの中にフォトレジスト膜36を塗布し、これを露光、現像することにより、配線用開口34aの中において第1の配線層の一部に対向する窓をフォトレジスト膜36に形成する。その窓はコンタクトビアに相当する形状を有している。そして、図21(F)に示すように、フォトレジスト膜36の窓を通してシリコン酸化膜33をエッチングし、これによりコンタクトビアに相当する形状の開口33aを形成する。

【0019】そのエッチングを終えた状態で、図22(G)に示すように、酸素とアルゴンを用いた異方性のプラズマエッチングによって、開口33aを通して有機絶縁膜32をエッチングしてそこに開口32aを形成する。このエッチングの際にはフォトレジスト膜36が並行してエッチングされ、除去される。従って、フォトレジスト膜36を独立して除去する工程は不要になり、しかも、有機絶縁膜32が不必要にエッチングされることはない。

【0020】次に、図22(H)に示すように、窒化シリコン膜34をマスクに使用して、フッ素系ガスを使用するプラズマエッチングにより開口34aを通してシリコン酸化膜33を配線形状にエッチングして開口33bを形成する。このエッチングの最中には有機絶縁膜32はマスクとして使用され、有機絶縁膜32の開口32aを通してその下のシリコン酸化膜31もエッチングされ、これによりシリコン酸化膜31には開口31aが同時に形成される。

【0021】続いて、窒化シリコン膜34の開口34aを通して有機絶縁膜32を酸素プラズマによってエッチングすると、有機絶縁膜32は配線形状にパターニングされてそこには図22(I)に示す配線用開口32bが形成される。この有機絶縁膜32の配線用開口32bはシリコン酸化膜33の配線用開口33bとともに第2の配線層の配線溝として使用される。

【0022】次に、図23(J)に示すように、シリコン酸化膜31をマスクに使用し、 C_4F_8 ガスと O_2 ガスを用いるプラズマエッチングにより、開口31aの下の窒化シリコン膜30をエッチングすることによりそこに開口30aを形成する。窒化シリコン膜30の開口30aとシリコン酸化膜31の開口31aは、コンタクトビアホールとして使用され、その下には第1の配線層の配線の一部が露出することになる。

【0023】次に、図23(K)に示すように、以上のようにして形成された凹部の内壁面に、スパッタリングによりTiN又はTa₂Nよりなるバリアメタル膜37を

50nmの厚さに形成する。続いて、図23(L)に示すように、スパッタリングにより銅膜38の下半分を100nmの厚さに成膜した後、その上に電解メッキ法により銅膜38の上半分を1500nmの厚さで成膜する。そして、銅膜38を400℃で30分間、水素雰囲気中でアニール処理を行う。なお、アニール処理は、銅膜38内で粒子を成長させて配線の信頼性を高めるために行なわれる。

【0024】次に、図24(M)に示すように、CMP法により、銅膜38を研磨し、これにより、銅膜38を第2の配線層の配線溝とコンタクトビアホール内のみ残す。そして、第2の配線溝内の銅膜(銅膜38の上半分)を配線として用い、また、コンタクトビアホール内に残った銅膜(銅膜38の下半分)をプラグとして使用する。

【0025】

【発明が解決しようとする課題】ところで、図23(J)に示す工程において、シリコン酸化膜31をマスクに使用し、 C_4F_8 ガスと O_2 ガスを用いるプラズマエッチングにより、開口31aの下の窒化シリコン膜30をエッチングする際に、シリコン酸化膜31も浸食を受け、図23(J)に示すような掘られ40が形成されてしまう。また、有機絶縁膜32も同様に浸食されてしまい、ボーイング41が形成されてしまうという問題点があった。

【0026】図25は、ボーイング41が発生した断面の拡大図である。この図に示すように、ボーイング41が発生すると、図23(K)に示すスパッタリングによりTiN又はTa_xNよりなるバリアメタル膜37を形成する際に、陰となる部分にバリアメタル膜37が十分に形成されず、不連続成長点42が形成されてしまう。その結果、銅膜38から銅が拡散してしまい、品質が低下するという問題点があった。

【0027】また、掘られ40およびボーイング41が発生すると、通常よりも配線の断面積が増加してしまうため、配線間の容量が増大し、動作速度が低下してしまうという問題点もあった。

【0028】更に、 C_4F_8 ガスと O_2 ガスを用いるプラズマエッチングを行う際には、 CF_x 系デブリが発生して銅膜26に付着するとともに、銅膜26自体も酸化されてCu酸化物を生じてしまうため、歩留まりの低下を招来するという問題点もあった。

【0029】本発明は、以上のような点に鑑みてなされたものであり、デュアルダマシン法による半導体装置の製造方法において、掘られ40およびボーイングの発生を防止し、半導体装置の歩留まりを向上させることを目的とする。

【0030】

【課題を解決するための手段】本発明では上記課題を解決するために、半導体基板(シリコン基板21)上に、

キャップ膜(窒化シリコン膜30)、第1の絶縁膜(シリコン酸化膜31)、有機絶縁膜32、第2の絶縁膜(シリコン酸化膜33)、マスク材(窒化シリコン膜34)を順に形成する工程(図20(B))と、前記マスク材(窒化シリコン膜34)を部分的にエッチングして配線パターン形状をもつ第1の開口34aを形成する工程(図21(D))と、前記第2の絶縁膜(シリコン酸化膜33)のうち前記第1の開口34aの一部に重なる部分をエッチングしてビアパターン形状をもつ第2の開口33aを形成する工程(図21(F))と、前記第2の絶縁膜(シリコン酸化膜33)の前記第2の開口33aを通して前記有機絶縁膜32をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第3の開口32aを前記有機絶縁膜32に形成する工程(図22(G))と、前記マスク材(窒化シリコン膜34)の前記第1の開口34aを通して前記第2の絶縁膜(シリコン酸化膜33)をエッチングすることにより、前記配線パターン形状を有する第4の開口33bを前記第2の絶縁膜(シリコン酸化膜33)に形成すると同時に、前記有機絶縁膜32の前記第3の開口32aを通して前記第1の絶縁膜(シリコン酸化膜31)をエッチングすることにより前記ビアパターン形状を持つ第5の開口31aを前記第1の絶縁膜(シリコン酸化膜31)に形成する工程(図22(H))と、前記第1の絶縁膜(シリコン酸化膜31)の前記第5の開口31aを通して前記キャップ膜(窒化シリコン膜30)をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第6の開口30aを前記キャップ膜(窒化シリコン膜30)に形成して、該第6の開口30aと前記第5の開口31aをビアホールとして適用すると同時に、前記マスク材(窒化シリコン膜34)を除去する工程(図3(B))と、前記第2の絶縁膜(シリコン酸化膜33)の前記第4の開口33aを通して前記有機絶縁膜32をエッチングして前記配線パターン形状をもつ第7の開口32bを前記有機絶縁膜32に形成し、該第7の開口32bと前記第4の開口33bを配線溝として適用する工程と、前記ビアホールと前記配線溝に同時に導電体(銅膜38)を埋め込むことにより、前記ビアホール内にビアを形成するとともに前記配線溝内に配線を形成する工程(図4(E))と、を有することを特徴とする半導体装置の製造方法が提供される。

【0031】ここで、最初の工程(図20(B))では、半導体基板(シリコン基板21)上に、キャップ膜(窒化シリコン膜30)(第1の絶縁膜や有機絶縁膜へのCu(銅)の拡散を防止する役割を果たす膜)、第1の絶縁膜(シリコン酸化膜31)、有機絶縁膜32、第2の絶縁膜(シリコン酸化膜33)、マスク材(窒化シリコン膜34)が順に形成される。次の工程(図21(D))では、マスク材(窒化シリコン膜34)を部分的にエッチングして配線パターン形状をもつ第1の開口34aが形成される。次の工程(図21(F))では、

第2の絶縁膜（シリコン酸化膜33）のうち第1の開口34aの一部に重なる部分をエッチングしてビアパターン形状をもつ第2の開口33aが形成される。次の工程（図22（G））では、第2の絶縁膜（シリコン酸化膜33）の第2の開口33aを通して有機絶縁膜32をエッチングしてビアパターン形状をもつ第3の開口32aが有機絶縁膜32に形成される。次の工程（図22（H））では、マスク材（窒化シリコン膜34）の第1の開口34aを通して第2の絶縁膜（シリコン酸化膜33）をエッチングすることにより、配線パターン形状を有する第4の開口33bが第2の絶縁膜（シリコン酸化膜33）に形成されると同時に、有機絶縁膜32の第3の開口32aを通して第1の絶縁膜（シリコン酸化膜31）をエッチングすることによりビアパターン形状を持つ第5の開口31aが第1の絶縁膜（シリコン酸化膜31）に形成される。次の工程（図3（B））では、第1の絶縁膜（シリコン酸化膜31）の第5の開口31aを通してキャップ膜（窒化シリコン膜30）をエッチングしてビアパターン形状をもつ第6の開口30aがキャップ膜（窒化シリコン膜30）に形成され、該第6の開口30aと第5の開口31aがビアホールとして適用されると同時に、マスク材（窒化シリコン膜34）が除去される。次の工程（図3（C））では、第2の絶縁膜（シリコン酸化膜33）の第4の開口33aを通して有機絶縁膜32をエッチングして配線パターン形状をもつ第7の開口32bが有機絶縁膜32に形成され、該第7の開口32bと第4の開口33bが配線溝として適用される。最後の工程（図4（F））では、ビアホールと配線溝に同時に導電体（銅膜38）を埋め込むことにより、ビアホール内にビアが形成されるとともに配線溝内に配線が形成される。

【0032】また、本発明では上記課題を解決するために、半導体基板（シリコン基板21）上に、第1のマスク30材、有機絶縁膜60、絶縁膜（シリコン酸化膜61）、マスク材62を順に形成する工程（図9（A））と、前記マスク材62を部分的にエッチングして配線パターン形状をもつ第1の開口62aを形成する工程（図9（B））と、前記絶縁膜（シリコン酸化膜61）のうち前記第1の開口62aの一部に重なる部分をエッチングしてビアパターン形状をもつ第2の開口61aを形成する工程（図9（C））と、前記絶縁膜（シリコン酸化膜61）の前記第2の開口61aを通して前記有機絶縁膜60をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第3の開口60aを前記有機絶縁膜60に形成する工程（図10（D））と、前記マスク材62の前記第1の開口62aを通して前記絶縁膜（シリコン酸化膜61）をエッチングすることにより、前記配線パターン形状を有する第4の開口61bを前記絶縁膜に形成する工程（図10（E））と、前記有機絶縁膜60の前記第3の開口60aを通して前記キャップ膜（窒化シリコン膜30）

0）をエッチングすることにより、前記ビアパターン形状を有する第5の開口30aを前記キャップ膜（窒化シリコン膜30）に形成し、該第5の開口30aと前記第3の開口60aをビアホールとして適用すると同時に、前記マスク材62を除去する工程（図10（F））と、前記絶縁膜（シリコン酸化膜61）の前記第4の開口61bを通して前記有機絶縁膜60をエッチングすることにより、前記配線パターン形状を有する第6の開口60bを前記有機絶縁膜60に形成し、該第6の開口60bと前記第4の開口61bを配線溝として適用する工程（図11（G））と、前記ビアホールと前記配線溝に同時に導電体（銅膜65）を埋め込むことにより、前記ビアホール内にビアを形成するとともに前記配線溝内に配線を形成する工程（図11（I））と、を有することを特徴とする半導体装置の製造方法が提供される。

【0033】ここで、最初の工程（図9（A））では、半導体基板（シリコン基板21）上に、第1のマスク30材、有機絶縁膜60、絶縁膜（シリコン酸化膜61）、マスク材62が順に形成される。次の工程（図9（B））では、マスク材62を部分的にエッチングして配線パターン形状をもつ第1の開口62aが形成される。次の工程（図9（C））では、絶縁膜（シリコン酸化膜61）のうち第1の開口62aの一部に重なる部分をエッチングしてビアパターン形状をもつ第2の開口61aが形成される。次の工程（図10（D））では、絶縁膜（シリコン酸化膜61）の第2の開口61aを通して有機絶縁膜60をエッチングしてビアパターン形状をもつ第3の開口60aが有機絶縁膜60に形成される。次の工程（図10（E））では、マスク材62の第1の開口62aを通して絶縁膜（シリコン酸化膜61）をエッチングすることにより、配線パターン形状を有する第4の開口61bが絶縁膜に形成される。次の工程（図10（F））では、有機絶縁膜60の第3の開口60aを通してキャップ膜（窒化シリコン膜30）をエッチングすることにより、ビアパターン形状を有する第5の開口30aがキャップ膜（窒化シリコン膜30）に形成され、該第5の開口30aと第3の開口60aがビアホールとして適用されると同時に、マスク材62が除去される。次の工程（図11（G））では、絶縁膜（シリコン酸化膜61）の第4の開口61bを通して有機絶縁膜60をエッチングすることにより、配線パターン形状を有する第6の開口60bが有機絶縁膜60に形成され、該第6の開口60bと第4の開口61bを配線溝として適用される。次の工程（図11（I））では、ビアホールと配線溝に同時に導電体（銅膜65）を埋め込むことにより、ビアホール内にビアが形成されるとともに配線溝内に配線が形成される。

【0034】更に、本発明では上記課題を解決するために、半導体基板（シリコン基板21）上に、キャップ膜

(窒化シリコン膜30)、第1の有機絶縁膜80、第1の絶縁膜(シリコン酸化膜81)、第2の有機絶縁膜82、第2の絶縁膜(シリコン酸化膜83)、マスク材84を順に形成する工程(図13(B))と、前記マスク材84を部分的にエッチングして配線パターン形状をもつ第1の開口84aを形成する工程(図14(D))と、前記第2の絶縁膜(シリコン酸化膜83)のうち前記第1の開口84aの一部に重なる部分をエッチングしてビアパターン形状をもつ第2の開口83aを形成する工程(図14(F))と、前記第2の絶縁膜(シリコン酸化膜83)の前記第2の開口83aを通して前記第2の有機絶縁膜82をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第3の開口82aを前記第2の有機絶縁膜82に形成する工程(図15(G))と、前記第2の有機絶縁膜82の前記第3の開口82aを通して前記第1の絶縁膜(シリコン酸化膜81)をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第4の開口81aを前記第1の絶縁膜(シリコン酸化膜81)に形成する工程(図15(H))と、前記第1の絶縁膜(シリコン酸化膜81)の前記第4の開口81aを通して前記第1の有機絶縁膜80をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第5の開口80aを前記第1の有機絶縁膜80に形成する工程(図15(I))と、前記マスク材84の前記第1の開口84aを通して前記第2の絶縁膜(シリコン酸化膜83)をエッチングして前記配線パターン形状をもつ第6の開口83bを前記第2の絶縁膜に形成する工程(図16(J))と、前記第1の有機絶縁膜80の前記第5の開口80aを通して前記キャップ膜(窒化シリコン膜30)をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第7の開口30aを前記キャップ膜(窒化シリコン膜30)に形成し、該第7の開口30aと前記第4の開口81aおよび前記第5の開口80aをビアホールとして適用すると同時に、前記マスク材84を除去する工程(図16(K))と、前記第2の絶縁膜(シリコン酸化膜83)の前記第6の開口83bを通して前記第2の有機絶縁膜82をエッチングして前記配線パターン形状をもつ第8の開口82bを前記第2の有機絶縁膜82に形成し、該第8の開口82bと前記第6の開口83bを配線溝として適用する工程(図16(L))と、前記ビアホールと前記配線溝に同時に導電体(銅膜88)を埋め込むことにより、前記ビアホール内にビアを形成するとともに前記配線溝内に配線を形成する工程(図17(N))と、を有することを特徴とする半導体装置の製造方法が提供される。

【0035】ここで、最初の工程(図13(B))では、半導体基板(シリコン基板21)上に、キャップ膜(窒化シリコン膜30)、第1の有機絶縁膜80、第1の絶縁膜(シリコン酸化膜81)、第2の有機絶縁膜82、第2の絶縁膜(シリコン酸化膜83)、マスク材84が順に形成される。次の工程(図14(D))では、

マスク材84を部分的にエッチングして配線パターン形状をもつ第1の開口84aが形成される。次の工程(図14(F))では、第2の絶縁膜(シリコン酸化膜83)のうち第1の開口84aの一部に重なる部分をエッチングしてビアパターン形状をもつ第2の開口83aが形成される。次の工程(図15(G))では、第2の絶縁膜(シリコン酸化膜83)の第2の開口83aを通して第2の有機絶縁膜82をエッチングしてビアパターン形状をもつ第3の開口82aが第2の有機絶縁膜82に形成される。次の工程(図15(H))では、第2の有機絶縁膜82の第3の開口82aを通して第1の絶縁膜(シリコン酸化膜81)をエッチングしてビアパターン形状をもつ第4の開口81aが第1の絶縁膜(シリコン酸化膜81)に形成される。次の工程(図15(I))では、第1の絶縁膜(シリコン酸化膜81)の第4の開口81aを通して第1の有機絶縁膜80をエッチングしてビアパターン形状をもつ第5の開口80aが第1の有機絶縁膜80に形成される。次の工程(図16(J))では、マスク材84の第1の開口84aを通して第2の絶縁膜(シリコン酸化膜83)をエッチングして配線パターン形状をもつ第6の開口83bが第2の絶縁膜に形成される。次の工程(図16(K))では、第1の有機絶縁膜80の第5の開口80aを通してキャップ膜(窒化シリコン膜30)をエッチングしてビアパターン形状をもつ第7の開口30aがキャップ膜(窒化シリコン膜30)に形成され、該第7の開口30aと第4の開口81aおよび第5の開口80aをビアホールとして適用されると同時に、マスク材84が除去される。次の工程(図16(L))では、第2の絶縁膜(シリコン酸化膜83)の第6の開口83bを通して第2の有機絶縁膜82をエッチングして配線パターン形状をもつ第8の開口82bが第2の有機絶縁膜82に形成され、該第8の開口82bと第6の開口83bが配線溝として適用される。最後の工程(図17(N))では、ビアホールと配線溝に同時に導電体(銅膜88)が埋め込まれることにより、ビアホール内にビアが形成されるとともに配線溝内に配線が形成される。

【0036】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。図1および図2は、本発明の原理を説明するための図である。先ず、図1を参照して、従来の半導体装置の製造方法について簡単に説明した後、図2を参照して本発明の原理について説明する。

【0037】従来の半導体装置の製造方法では、図1(A)に示すように、シリコン酸化膜31、33をエッチングした後、図1(B)に示すように有機絶縁膜32をエッチングし、最後に、図1(C)に示すように窒化シリコン膜30、34をエッチングしていた。従って、図1(C)に示す最後の工程において、掘られ40およびボーイング41が発生するとともに、 CF_x デポ物4

4が堆積し、銅膜26にCu酸化物43が生成されている。

【0038】そこで、本発明では、図1に示す(B)と(C)の工程を入れ替え、先ず、図2(B)に示すように窒化シリコンエッチングの工程を実施する。このとき、シリコン酸化膜31は、有機絶縁膜32によってマスクされるので、掘られ40が発生することが防止される。

【0039】また、有機絶縁膜32は、酸素または水素によるプラズマエッチングが可能であることから、これらのガスを用いるとシリコン酸化膜31に対して高選択比を確保できるので、掘られが発生することを防止できる。

【0040】更に、図2(B)の工程では、従来の場合と同様に、 CF_x デポ物44が堆積し、銅膜26にCu酸化物43が生成されることになるが、図2(C)の工程において、酸素または水素によるプラズマエッチングを行えば、 CF_x デポ物44を揮発性のガスに転換することによりこれを除去することができる。また、水素ガスを用いたエッチングによれば、Cu酸化物43を銅に還元することができる。

【0041】その結果、配線容量が増大することを防止するとともに、歩留まりを向上させることが可能になる。次に、図3および図4を参照して、本発明の第1の実施の形態について説明する。なお、図22(G)までの工程は、従来の場合と同様であるのでその説明は省略する。

【0042】有機絶縁膜32のエッチングが終了すると、図3(A)に示すように、窒化シリコン膜34をマスクに使用して、フッ素系ガスを使用するプラズマエッチングにより開口34aを通してシリコン酸化膜33を配線形状にエッチングして開口33bを形成する。このエッチングの最中には有機絶縁膜32はマスクとして使用され、有機絶縁膜32の開口32aを通してその下のシリコン酸化膜31もエッチングされ、これによりシリコン酸化膜31には開口31aが同時に形成される。

【0043】次に、図3(B)に示すように、シリコン酸化膜31をマスクに使用し、 C_4F_8 ガスと O_2 ガスを用いるプラズマエッチングにより、開口31aの下の窒化シリコン膜30をエッチングすることにより、そこに開口30aを形成する。窒化シリコン膜30の開口30aとシリコン酸化膜31の開口31aは、コンタクトヴィアホールとして使用され、その下には第1の配線層の配線の一部が露出することになる。

【0044】このとき、シリコン酸化膜31は、有機絶縁膜32によって保護されているので、掘られが生じることが防止される。続いて、シリコン酸化膜33の開口33aを通して有機絶縁膜32を水素または酸素プラズマによってエッチングすると、有機絶縁膜32は配線形状にパターニングされてそこには図3(C)に示す配線

用開口32bが形成される。この有機絶縁膜32の配線用開口32bはシリコン酸化膜33の配線用開口33bとともに第2の配線層の配線溝として使用される。

【0045】なお、水素または酸素によるプラズマエッチングでは、シリコン酸化膜31に対して高選択比が得られるので、掘られが生じることを防止できる。また、図3(B)に示す工程で、 CF_x デポ物が堆積し、また、銅膜26にCu酸化物が生成されることになるが、図3(C)の工程において、水素または酸素によるプラズマエッチングを行えば、 CF_x デポ物を揮発性のガスに転換することによりこれを除去することができる。また、水素ガスを用いたエッチングによれば、Cu酸化物を銅に還元することができる。

【0046】次に、図4(D)に示すように、以上の工程によって形成された凹部の内壁面に、スパッタリングによりTiN又はTa₂Nよりなるバリアメタル膜37を50nmの厚さに形成する。

【0047】続いて、図4(E)に示すように、スパッタリングにより銅膜38の下半分を100nmの厚さに成膜した後、その上に電解メッキ法により銅膜38の上半分を1500nmの厚さで成膜する。そして、銅膜38を400℃で30分間、水素雰囲気中でアニール処理を行う。なお、アニール処理は、銅膜38内で粒子を成長させて配線の信頼性を高めるために行なわれる。

【0048】次に、図4(F)に示すように、CMP法により、銅膜38を研磨し、これにより、銅膜38を第2の配線層の配線溝とコンタクトヴィアホール内のみ残す。そして、第2の配線溝内の銅膜(銅膜38の上半分)を配線として用い、また、コンタクトヴィアホール内に残った銅膜(銅膜38の下半分)をプラグとして使用する。

【0049】以上に説明した本発明の第1の実施の形態によれば、従来の方法に比較して、掘られおよびボーイングの発生を抑制することが可能になるので、配線間の容量が増大することを防止できる。

【0050】また、 CF_x デポ物を除去するとともに、Cu酸化物を銅に還元することができるので、歩留まりを向上させることが可能になる。更に、バリアメタルの不連続成長点の形成を阻止できるので、銅が拡散されて配線が短絡することを防止することが可能になる。

【0051】図5は、従来法と、本発明によって形成される掘られおよびボーイングの量を比較した図である。なお、掘られ量と、ボーイング量は、図6に示すように定義される。即ち、掘られ量は、シリコン酸化膜31の上面からの距離であり、また、ボーイング量は、シリコン酸化膜33の内壁面からボーイングの最深部までの距離である。

【0052】また、図5において、「周辺」とはウエハーの周辺部を示す。また、「中心」とはウエハーの中心を示す。図5から分かるように、従来の方法に比較する

と、本発明では、掘られおよびボーイングの双方を減少させることができる。一例として、「Center」付近では、従来法では、掘られが約36nm、ボーイングが約12.5nm発生していたが、本発明では、掘られが約22.5nm、ボーイングが約3nm程度に減少していることが分かる。

【0053】更に、従来の方法では、図25に示すようにバリアメタル37に不連続成長点42が形成され、これが原因で銅膜38が拡散されて配線が短絡する場合があったが、本発明では、不連続成長点42の原因となるボーイングの発生を抑制することができるので、このような原因により配線が短絡することを防止できる。

【0054】なお、本発明者の実験によると、図7に示すように、ボーイング量が10nm以上になると、不連続成長点が形成される確率が高まることが明らかになった。従って、ボーイング量が10nm以下となるように、各種パラメータ等を設定することが望ましいと考えられる。

【0055】そこで、図8に示すように、シリコン酸化膜33の内壁面の幅をW1とし、ボーイングが発生した有機絶縁膜32の最深部の幅をW2とした場合に、W1とW2の間に、 $(W2-W1)/2 \leq 10\text{nm}$ の関係が成立するように、エッチング時間等の各種パラメータを設定することにより、不連続成長点の形成を防止することが可能になる。

【0056】次に、図9～図12を参照して、本発明の第2の実施の形態による半導体装置の製造方法について説明する。図9(A)に示すように、本発明の第2の実施の形態では、シリコン基板21、シリコン酸化膜22、有機絶縁膜23、シリコン酸化膜24、バリアメタル膜25、銅膜26および窒化シリコン膜30については、第1の実施の形態の場合と同様であり、前述した工程によって形成される。

【0057】次に、第2の実施の形態では、窒化シリコン膜30の上に有機絶縁膜60をスピコートにより1000nmの厚さに形成する。この場合、有機絶縁膜32として、例えば、前述したSiLKを用いる。

【0058】続いて、有機絶縁膜60上にプラズマCVD法によりシリコン酸化膜61を100nmの厚さに形成する。更に、シリコン酸化膜61の上に膜厚100nmの窒化シリコン膜62をプラズマCVD法により形成した後、図20(C)と同様の工程により、窒化シリコン膜62に第2の配線層に相当する形状を有する配線用開口62aを形成する。

【0059】次に、図9(B)に示すように、窒化シリコン膜62の上とその開口62aの中にフォトリソ膜63を塗布し、これを露光、現像することにより、配線用開口62aの中であって第1の配線層の一部に対向する窓をフォトリソ膜63に形成する。その窓はコンタクトビアに相当する形状を有している。そして、

図9(C)に示すように、フォトリソ膜63の窓を通してシリコン酸化膜61をエッチングし、これによりコンタクトビアに相当する形状の開口61aを形成する。

【0060】そのエッチングを終えた状態で、図10(D)に示すように、酸素とアルゴンを用いた異方性のプラズマエッチングによって、開口61aを通して有機絶縁膜60をエッチングしてそこに開口60aを形成する。このエッチングの際にはフォトリソ膜63が並行してエッチングされ、除去される。したがって、フォトリソ膜63を独立して除去する工程は不要になり、しかも、有機絶縁膜60が不必要にエッチングされることはない。なお、酸素とアルゴンの代わりに、水素(H_2)ガスまたはアンモニア(NH_3)ガスを用いてエッチングすることも可能である。

【0061】次に、図10(E)に示すように、窒化シリコン膜62をマスクに使用して、フッ素系ガスを使用するプラズマエッチングにより開口62aを通してシリコン酸化膜61を配線形状にエッチングして開口61bを形成する。

【0062】次に、図10(F)に示すように、有機絶縁膜60をマスクに使用し、 C_4F_8 ガスと O_2 ガスを用いるプラズマエッチングにより、開口60aの下に窒化シリコン膜30をエッチングすることによりそこに開口30aを形成する。窒化シリコン膜30の開口30aと有機絶縁膜60の開口60aは、コンタクトビアホールとして使用され、その下には第1の配線層の配線の一部が露出することになる。また、このとき、窒化シリコン膜62も並行して除去されることになる。

【0063】続いて、シリコン酸化膜61の開口61bを通して有機絶縁膜60を水素または酸素プラズマによって一定時間エッチングすると、有機絶縁膜60は配線形状にパターンニングされてそこには図11(G)に示す配線用開口60bが形成される。この有機絶縁膜60の配線用開口60bはシリコン酸化膜61の配線用開口61bとともに第2の配線層の配線溝として使用される。

【0064】なお、本発明の第2の実施の形態では、窒化シリコン膜30、62に対するエッチングを行った後に、有機絶縁膜60に対するエッチングを行うようにしたので、掘られが生じることを防止でき、また、SiLKのボーイングも小さくすることができる。また、図10(F)に示す工程で、 CF_x デポ物が堆積し、また、銅膜26にCu酸化物が生成されることになるが、図11(G)の工程において、酸素または水素によるプラズマエッチングを行えば、 CF_x デポ物を揮発性のガスに転換することによりこれを除去することができる。また、水素ガスを用いたエッチングによれば、Cu酸化物を銅に還元することができる。

【0065】次に、図11(H)に示すように、以上のようにして形成された凹部の内壁面に、スパッタリング

によりTiN又はTa₂Nよりなるバリアメタル膜64を50nmの厚さに形成する。続いて、図11(I)に示すように、スパッタリングにより銅膜65の下半分を100nmの厚さに成膜した後、その上に電解メッキ法により銅膜65の上半分を1500nmの厚さで成膜する。そして、銅膜65を400℃で30分間、水素雰囲気中でアニール処理を行う。なお、アニール処理は、前述したように、銅膜65内で粒子を成長させて配線の信頼性を高めるために行なわれる。

【0066】次に、図12(J)に示すように、CMP法により、銅膜65を研磨し、これにより、銅膜65を第2の配線層の配線溝とコンタクトヴィアホール内のみ残す。そして、第2の配線溝内の銅膜(銅膜65の上半分)を配線として用い、また、コンタクトヴィアホール内に残った銅膜(銅膜65の下半分)をプラグとして使用する。

【0067】このように、シリコン酸化膜31および有機絶縁膜32を有機絶縁膜60に置換した場合であっても、窒化シリコン膜30、62をエッチングする工程を、有機絶縁膜60のエッチングする工程の前に持つてくることにより、掘られおよびボーイングの発生を防止することができる。その結果、これらに起因して配線間の容量が増大することを防止できる。

【0068】また、窒化シリコン膜30、62のエッチングによって生成されたCF_xデブリ物を除去するとともに、Cu酸化物を銅に還元することが可能になる。その結果、歩留まりを向上させることが可能になる。

【0069】更に、ボーイングの発生を防止することにより、不連続成長点の形成を阻止し、銅膜65の拡散による配線の短絡を未然に防止できる。次に、図13～図17を参照して本発明の第3の実施の形態について説明する。

【0070】まず、図13(A)～(C)に示すように、下側配線層の上に複数の絶縁膜および金属膜等を形成する。なお、図13(A)に示す、下側配線層の形成方法については、従来の場合と同様であるのでその説明は省略する。

【0071】次に、図13(B)に示すように、銅膜26およびシリコン酸化膜24の上に以下に述べるような複数の絶縁膜、金属膜などを形成する。即ち、銅膜26とシリコン酸化膜24の上に、膜厚50nmの窒化シリコン膜30をプラズマCVD法により形成する。また、窒化シリコン膜30の上に有機絶縁膜80をスピコートにより400nmの厚さに形成する。なお、有機絶縁膜80としては、例えば、SiLKやその他の絶縁材料を用いる。

【0072】続いて、有機絶縁膜80上にプラズマCVD法によりシリコン酸化膜81を100nmの厚さに形成する。更に、シリコン酸化膜81の上に有機絶縁膜82をスピコートにより400nmの厚さに形成する。

なお、有機絶縁膜82としては、有機絶縁膜80の場合と同様に、SiLKやその他の絶縁材料を用いる。

【0073】続いて、有機絶縁膜82上にプラズマCVD法によりシリコン酸化膜83を100nmの厚さに形成する。更に、シリコン酸化膜83の上に膜厚100nmの窒化シリコン膜84をプラズマCVD法により形成する。

【0074】以上のような膜の形成を終えた後に、図13(C)に示すように、窒化シリコン膜84の上にフォトレジスト膜85を塗布し、これを露光し、現像して窓を形成する。

【0075】そして、図14(D)に示すように、フォトレジスト85をマスクとして用いるフォトリソグラフィ法により窒化シリコン膜84に第2の配線層に相当する形状を有する配線用開口84aを形成する。また、フォトレジスト膜85を酸素プラズマによってアッシングし、これを除去する。

【0076】次に、図14(E)に示すように、窒化シリコン膜84の上とその開口84aの中にフォトレジスト膜86を塗布する。なお、その際、フォトレジスト膜86は、図21(E)の場合と比較して、その膜厚が厚くなるように形成する。フォトレジスト膜86の塗布が完了したら、これを露光、現像することにより、配線用開口84aの中であって第1の配線層の一部に対向する窓をフォトレジスト膜86に形成する。その窓はコンタクトヴィアに相当する形状を有している。そして、図14(F)に示すように、フォトレジスト膜86の窓を通してシリコン酸化膜83をエッチングし、これによりコンタクトヴィアに相当する形状の開口83aを形成する。

【0077】そのエッチングを終えた状態で、図15(G)に示すように、酸素とアルゴンを用いた異方性のプラズマエッチングによって、開口83aを通して有機絶縁膜82をエッチングしてそこに開口82aを形成する。このエッチングの際にはフォトレジスト膜86が並行してエッチングされるが、前述のようにこのフォトレジスト膜86は、図21(E)の場合と比較してその膜厚が厚いので、一部分のみが除去される。

【0078】次に、図15(H)に示すように、残ったフォトレジスト膜86をマスクに使用して、フッ素系ガスを使用するプラズマエッチングにより開口82aを通してシリコン酸化膜81を配線形状にエッチングして開口81aを形成する。

【0079】次に、図15(I)に示すように、酸素とアルゴンを用いた異方性のプラズマエッチングによって、開口81a、82aを通して有機絶縁膜80をエッチングしてそこに開口80aを形成する。このエッチングの際にはフォトレジスト膜86が並行してエッチングされ、フォトレジスト膜86が除去される。

【0080】続いて、図16(J)に示すように、窒化

シリコン膜84の開口84aを通してシリコン酸化膜83をフッ素系ガスを使用するプラズマエッチングによりシリコン酸化膜83を配線形状にエッチングして開口83bを形成する。

【0081】次に、図16(K)に示すように、有機絶縁膜80をマスクに使用し、 C_4F_8 ガスと O_2 ガスを用いるプラズマエッチングにより、開口80aの下に窒化シリコン膜30をエッチングすることによりそこに開口30aを形成する。窒化シリコン膜30の開口30aと有機絶縁膜80の開口80aは、コンタクトヴィアホールとして使用され、その下には第1の配線層の配線の一部が露出することになる。

【0082】次に、図16(L)に示すように、シリコン酸化膜83の開口83bを通して有機絶縁膜82を水素または酸素プラズマによってエッチングすると、有機絶縁膜82は配線形状にパターンニングされてそこには図16(L)に示す配線用開口82bが形成される。この有機絶縁膜82の配線用開口82bはシリコン酸化膜83の配線用開口83bとともに第2の配線層の配線溝として使用される。

【0083】なお、第3の実施の形態では、窒化シリコン膜30、84に対するエッチングを行った後に、有機絶縁膜82に対するエッチングを行うようにしたので、ボーイングが発生することを防止できる。また、有機絶縁膜82の下に、シリコン酸化膜81を配置するようにしたので、掘られが発生することを防止できる。更に、また、図16(K)に示す工程で、 CF_x デポ物が堆積し、また、銅膜26にCu酸化物が生成されることになるが、図16(L)の工程において、酸素または水素によるプラズマエッチングを行えば、 CF_x デポ物を揮発性のガスに転換することによりこれを除去することができる。また、水素ガスを用いたエッチングによれば、Cu酸化物を銅に還元することができる。

【0084】以上のようにして形成された凹部の内壁面に、図17(M)に示すように、スパッタリングによりTiN又はTa₂Nよりなるバリアメタル膜87を50nmの厚さに形成する。続いて、図17(N)に示すように、スパッタリングにより銅膜88の下半分を100nmの厚さに成膜した後、その上に電解メッキ法により銅膜88の上半分を1500nmの厚さに成膜する。そして、銅膜88を400℃で30分間、水素雰囲気中でアニール処理を行う。なお、アニール処理は、前述したように、銅膜88内で粒子を成長させて配線の信頼性を高めるために行なわれる。

【0085】次に、図17(O)に示すように、CMP法により、銅膜88を研磨し、これにより、銅膜88を第2の配線層の配線溝とコンタクトヴィアホール内のみ残す。そして、第2の配線溝内の銅膜(銅膜88の上半分)を配線として用い、また、コンタクトヴィアホール内に残った銅膜(銅膜88の下半分)をプラグとして

使用する。

【0086】このように、シリコン酸化膜31および有機絶縁膜32を、有機絶縁膜80、シリコン酸化膜81および有機絶縁膜82に置換した場合であっても、窒化シリコン膜30、84をエッチングする工程を、有機絶縁膜82のエッチングする工程の前に持ってくることであり、掘られおよびボーイングの発生を防止することができる。また、窒化シリコン膜30、84のエッチングによって生成された CF_x デポ物を除去するとともに、Cu酸化物を銅に還元することが可能になる。その結果、ボーイングや掘られによって配線容量が増大することを防止することができるとともに、歩留まりを向上させることが可能になる。

【0087】なお、以上に示す第1～第3の実施の形態では、窒化シリコン(窒化シリコン膜30、34、62、84)を使用したか、窒化シリコンの代わりに炭化シリコン(SiC)を用いることも可能である。

【0088】また、第2の実施の形態では、図9(A)に示すように、シリコン酸化膜61の上に窒化シリコン膜62を形成するようにしたが、図18(A)に示すように、窒化シリコン膜62の上にシリコン酸化膜61を形成するようにしてもよい。

【0089】また、図18(B)に示すように、図18(A)に示す窒化シリコン膜30、62の代わりにSiC膜(炭化窒素膜)90、91を使用することも可能である。

【0090】図19は、本発明の第1の実施の形態を用いて形成したデバイスの断面図である。第1の実施の形態では、第1と第2の配線に関してその形成方法を示したが、図19に示すように、第2の配線層よりも上の層についても、前述の場合と同様の工程を繰り返すことにより、多層構造を有する配線を形成することが可能である。

【0091】更に、第2および第3の実施の形態の場合についても、同様に、前述の工程を繰り返すことにより、多層構造を有する配線を形成することが可能である。

(付記1) 半導体基板上に、キャップ膜、第1の絶縁膜、有機絶縁膜、第2の絶縁膜、マスク材を順に形成する工程と、前記マスク材を部分的にエッチングして配線パターン形状をもつ第1の開口を形成する工程と、前記第2の絶縁膜のうち前記第1の開口の一部に重なる部分をエッチングしてヴィアパターン形状をもつ第2の開口を形成する工程と、前記第2の絶縁膜の前記第2の開口を通して前記有機絶縁膜をエッチングして前記ヴィアパターン形状をもつ第3の開口を前記有機絶縁膜に形成する工程と、前記マスク材の前記第1の開口を通して前記第2の絶縁膜をエッチングすることにより、前記配線パターン形状を有する第4の開口を前記第2の絶縁膜に形成すると同時に、前記有機絶縁膜の前記第3の開口を通

して前記第1の絶縁膜をエッチングすることにより前記ビアパターン形状を持つ第5の開口を前記第1の絶縁膜に形成する工程と、前記第1の絶縁膜の前記第5の開口を通して前記キャップ膜をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第6の開口を前記キャップ膜に形成して、該第6の開口と前記第5の開口をビアホールとして適用すると同時に、前記マスク材を除去する工程と、前記第2の絶縁膜の前記第4の開口を通して前記有機絶縁膜をエッチングして前記配線パターン形状をもつ第7の開口を前記有機絶縁膜に形成し、該第7の開口と前記第4の開口を配線溝として適用する工程と、前記ビアホールと前記配線溝に同時に導電体を埋め込むことにより、前記ビアホール内にビアを形成するとともに前記配線溝内に配線を形成する工程と、を有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【0092】(付記2) 前記第7の開口は、水素(H_2)ガスもしくはアンモニア(NH_3)ガスまたはこれらの混合ガスによるプラズマエッチングによって形成されることを特徴とする付記1記載の半導体装置の製造方法。

【0093】(付記3) 前記有機絶縁膜に形成された前記第7の開口の側壁間の最大幅を $W2$ とし、前記第2の絶縁膜に形成された前記第4の開口の側壁間の最大幅を $W1$ とした場合に、 $W1 \geq W2$ の関係が成立することを特徴とする付記1記載の半導体装置の製造方法。

【0094】(付記4) 前記 $W1$ と前記 $W2$ との間には、 $(W2 - W1) / 2 \leq 10 \text{ nm}$ の関係が成立することを特徴とする付記3記載の半導体装置の製造方法。

(付記5) 前記マスク材および前記キャップ膜は、窒化シリコンまたは炭化シリコンによって構成されていることを特徴とする付記1記載の半導体装置の製造方法。

【0095】(付記6) 前記有機絶縁膜は、炭化水素系ポリマー、アリルエーテル系ポリマー、有機 SOG 、無機 SOG またはシリコンオキシカーバイト($SiOC$)の何れかによって構成されていることを特徴とする付記1記載の半導体装置の製造方法。

【0096】(付記7) 半導体基板上に、キャップ膜、有機絶縁膜、絶縁膜、マスク材を順に形成する工程と、前記マスク材を部分的にエッチングして配線パターン形状をもつ第1の開口を形成する工程と、前記絶縁膜のうち前記第1の開口の一部に重なる部分をエッチングしてビアパターン形状をもつ第2の開口を形成する工程と、前記絶縁膜の前記第2の開口を通して前記有機絶縁膜をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第3の開口を前記有機絶縁膜に形成する工程と、前記マスク材の前記第1の開口を通して前記絶縁膜をエッチングすることにより、前記配線パターン形状を有する第4の開口を前記絶縁膜に形成する工程と、前記有機絶縁膜の前記第3の開口を通して前記キャップ膜をエッチングすることにより、前記ビアパターン形状を有する第5の

開口を前記キャップ膜に形成し、該第5の開口と前記第3の開口をビアホールとして適用すると同時に、前記マスク材を除去する工程と、前記絶縁膜の前記第4の開口を通して前記有機絶縁膜をエッチングすることにより、前記配線パターン形状を有する第6の開口を前記有機絶縁膜に形成し、該第6の開口と前記第4の開口を配線溝として適用する工程と、前記ビアホールと前記配線溝に同時に導電体を埋め込むことにより、前記ビアホール内にビアを形成するとともに前記配線溝内に配線を形成する工程と、を有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【0097】(付記8) 前記第6の開口は、水素(H_2)ガスまたはアンモニア(NH_3)ガスによるプラズマエッチングによって形成されることを特徴とする付記7記載の半導体装置の製造方法。

【0098】(付記9) 前記有機絶縁膜に形成された前記第6の開口の側壁間の最大幅を $W2$ とし、前記絶縁膜に形成された前記第4の開口の側壁間の最大幅を $W1$ とした場合に、 $W1 \geq W2$ の関係が成立することを特徴とする付記7記載の半導体装置の製造方法。

【0099】(付記10) 前記 $W1$ と前記 $W2$ との間には、 $(W2 - W1) / 2 \leq 10 \text{ nm}$ の関係が成立することを特徴とする付記8記載の半導体装置の製造方法。

(付記11) 前記マスク材およびキャップ膜は、窒化シリコンまたは炭化シリコンによって構成されていることを特徴とする付記7記載の半導体装置の製造方法。

【0100】(付記12) 前記有機絶縁膜は、炭化水素系ポリマー、アリルエーテル系ポリマー、有機 SOG 、無機 SOG またはシリコンオキシカーバイト($SiOC$)の何れかによって構成されていることを特徴とする付記7記載の半導体装置の製造方法。

【0101】(付記13) 半導体基板上に、キャップ膜、第1の有機絶縁膜、第1の絶縁膜、第2の有機絶縁膜、第2の絶縁膜、マスク材を順に形成する工程と、前記マスク材を部分的にエッチングして配線パターン形状をもつ第1の開口を形成する工程と、前記第2の絶縁膜のうち前記第1の開口の一部に重なる部分をエッチングしてビアパターン形状をもつ第2の開口を形成する工程と、前記第2の絶縁膜の前記第2の開口を通して前記第2の有機絶縁膜をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第3の開口を前記第2の有機絶縁膜に形成する工程と、前記第2の有機絶縁膜の前記第3の開口を通して前記第1の絶縁膜をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第4の開口を前記第1の絶縁膜に形成する工程と、前記第1の絶縁膜の前記第4の開口を通して前記第1の有機絶縁膜をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第5の開口を前記第1の有機絶縁膜に形成する工程と、前記マスク材の前記第1の開口を通して前記第2の絶縁膜をエッチングして前記配線パターン形状をもつ第6の開口を前記第2の有機絶縁膜に形成する

工程と、前記第1の有機絶縁膜の前記第5の開口を通して前記キャップ膜をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第7の開口を前記キャップ膜に形成し、該第7の開口と前記第4の開口および前記第5の開口をビアホールとして適用すると同時に、前記マスク材を除去する工程と、前記第2の絶縁膜の前記第6の開口を通して前記第2の有機絶縁膜をエッチングして前記配線パターン形状をもつ第8の開口を前記第2の有機絶縁膜に形成し、該第8の開口と前記第6の開口を配線溝として適用する工程と、前記ビアホールと前記配線溝に同時に導電体を埋め込むことにより、前記ビアホール内にビアを形成するとともに前記配線溝内に配線を形成する工程と、を有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【0102】(付記14) 前記第8の開口は、水素(H_2)ガスまたはアンモニア(NH_3)ガスによるプラズマエッチングによって形成されることを特徴とする付記13記載の半導体装置の製造方法。

【0103】(付記15) 前記第2の有機絶縁膜に形成された前記第8の開口の側壁間の最大幅を $W2$ とし、前記第2の絶縁膜に形成された前記第6の開口の側壁間の最大幅を $W1$ とした場合に、 $W1 \geq W2$ の関係が成立することを特徴とする付記13記載の半導体装置の製造方法。

【0104】(付記16) 前記 $W1$ と前記 $W2$ との間には、 $(W2 - W1) / 2 \leq 10 \text{ nm}$ の関係が成立することを特徴とする付記15記載の半導体装置の製造方法。

(付記17) 前記マスク材およびキャップ膜は、窒化シリコンまたは炭化シリコンによって構成されていることを特徴とする付記13記載の半導体装置の製造方法。

【0105】(付記18) 前記第1の有機絶縁膜および前記第2の有機絶縁膜は、炭化水素系ポリマー、アリルエーテル系ポリマー、有機 SiO_2 、無機 SiO_2 またはシリコンオキシカーバイド($SiOC$)の何れかによって構成されていることを特徴とする付記13記載の半導体装置の製造方法。

【0106】

【発明の効果】以上説明したように本発明では、半導体基板上に、キャップ膜、第1の絶縁膜、有機絶縁膜、第2の絶縁膜、マスク材を順に形成する工程と、前記マスク材を部分的にエッチングして配線パターン形状をもつ第1の開口を形成する工程と、前記第2の絶縁膜のうち前記第1の開口の一部に重なる部分をエッチングしてビアパターン形状をもつ第2の開口を形成する工程と、前記第2の絶縁膜の前記第2の開口を通して前記有機絶縁膜をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第3の開口を前記有機絶縁膜に形成する工程と、前記マスク材の前記第1の開口を通して前記第2の絶縁膜をエッチングすることにより、前記配線パターン形状を有する

第4の開口を前記第2の絶縁膜に形成すると同時に、前記有機絶縁膜の前記第3の開口を通して前記第1の絶縁膜をエッチングすることにより前記ビアパターン形状をもつ第5の開口を前記第1の絶縁膜に形成する工程と、前記第1の絶縁膜の前記第5の開口を通して前記キャップ膜をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第6の開口を前記キャップ膜に形成して、該第6の開口と前記第5の開口をビアホールとして適用すると同時に、前記マスク材を除去する工程と、前記第2の絶縁膜の前記第4の開口を通して前記有機絶縁膜をエッチングして前記配線パターン形状をもつ第7の開口を前記有機絶縁膜に形成し、該第7の開口と前記第4の開口を配線溝として適用する工程と、前記ビアホールと前記配線溝に同時に導電体を埋め込むことにより、前記ビアホール内にビアを形成するとともに前記配線溝内に配線を形成する工程と、を設けるようにしたので、ボーイングおよび堀られが形成されることを防止できる。

【0107】また、以上説明したように本発明では、半導体基板上に、キャップ膜、有機絶縁膜、絶縁膜、マスク材を順に形成する工程と、前記マスク材を部分的にエッチングして配線パターン形状をもつ第1の開口を形成する工程と、前記絶縁膜のうち前記第1の開口の一部に重なる部分をエッチングしてビアパターン形状をもつ第2の開口を形成する工程と、前記絶縁膜の前記第2の開口を通して前記有機絶縁膜をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第3の開口を前記有機絶縁膜に形成する工程と、前記マスク材の前記第1の開口を通して前記絶縁膜をエッチングすることにより、前記配線パターン形状を有する第4の開口を前記絶縁膜に形成する工程と、前記有機絶縁膜の前記第3の開口を通して前記キャップ膜をエッチングすることにより、前記ビアパターン形状を有する第5の開口を前記キャップ膜に形成し、該第5の開口と前記第3の開口をビアホールとして適用すると同時に、前記マスク材を除去する工程と、前記絶縁膜の前記第4の開口を通して前記有機絶縁膜をエッチングすることにより、前記配線パターン形状を有する第6の開口を前記有機絶縁膜に形成し、該第6の開口と前記第4の開口を配線溝として適用する工程と、前記ビアホールと前記配線溝に同時に導電体を埋め込むことにより、前記ビアホール内にビアを形成するとともに前記配線溝内に配線を形成する工程と、を設けるようにしたので、歩留まりを向上させることが可能になる。

【0108】更に、以上説明したように本発明では、半導体基板上に、キャップ膜、第1の有機絶縁膜、第1の絶縁膜、第2の有機絶縁膜、第2の絶縁膜、マスク材を順に形成する工程と、前記マスク材を部分的にエッチングして配線パターン形状をもつ第1の開口を形成する工程と、前記第2の絶縁膜のうち前記第1の開口の一部に重なる部分をエッチングしてビアパターン形状をもつ

第2の開口を形成する工程と、前記第2の絶縁膜の前記第2の開口を通して前記第2の有機絶縁膜をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第3の開口を前記第2の有機絶縁膜に形成する工程と、前記第2の有機絶縁膜の前記第3の開口を通して前記第1の絶縁膜をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第4の開口を前記第1の絶縁膜に形成する工程と、前記第1の絶縁膜の前記第4の開口を通して前記第1の有機絶縁膜をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第5の開口を前記第1の有機絶縁膜に形成する工程と、前記マスク材の前記第1の開口を通して前記第2の絶縁膜をエッチングして前記配線パターン形状をもつ第6の開口を前記第2の絶縁膜に形成する工程と、前記第1の有機絶縁膜の前記第5の開口を通して前記キャップ膜をエッチングして前記ビアパターン形状をもつ第7の開口を前記キャップ膜に形成し、該第7の開口と前記第4の開口および前記第5の開口をビアホールとして適用すると同時に、前記マスク材を除去する工程と、前記第2の絶縁膜の前記第6の開口を通して前記第2の有機絶縁膜をエッチングして前記配線パターン形状をもつ第8の開口を前記第2の有機絶縁膜に形成し、該第8の開口と前記第6の開口を配線溝として適用する工程と、前記ビアホールと前記配線溝に同時に導電体を埋め込むことにより、前記ビアホール内にビアを形成するとともに前記配線溝内に配線を形成する工程と、を設けるようにしたので、配線容量が増加することを防止するとともに、配線が短絡することを防止できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来におけるデュアルダマシン法による半導体装置の製造方法の概略を説明する図である。

【図2】本発明による半導体装置の製造方法の概略を説明する図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態による半導体装置の製造方法を説明する図である。

【図4】本発明の第1の実施の形態による半導体装置の製造方法を説明する図である。

【図5】従来法と、本発明によって形成される堀られおよびボーイングの量を比較した図である。

【図6】堀られ量と、ボーイング量との定義を示す図である。

【図7】ボーイング量と不連続成長点の形成との関係を示す図である。

【図8】W1およびW2の定義を示す図である。

【図9】本発明の第2の実施の形態による半導体装置の製造方法を説明する図である。

【図10】本発明の第2の実施の形態による半導体装置の製造方法を説明する図である。

【図11】本発明の第2の実施の形態による半導体装置の製造方法を説明する図である。

【図12】本発明の第2の実施の形態による半導体装置

の製造方法を説明する図である。

【図13】本発明の第3の実施の形態による半導体装置の製造方法を説明する図である。

【図14】本発明の第3の実施の形態による半導体装置の製造方法を説明する図である。

【図15】本発明の第3の実施の形態による半導体装置の製造方法を説明する図である。

【図16】本発明の第3の実施の形態による半導体装置の製造方法を説明する図である。

【図17】第2の実施の形態の変形実施態様を示す図である。

【図18】第2の実施の形態の他の変形実施態様を示す図である。

【図19】第1の実施の形態を用いて形成したデバイスの断面を示す図である。

【図20】従来におけるデュアルダマシン法による半導体装置の製造方法を説明する図である。

【図21】従来におけるデュアルダマシン法による半導体装置の製造方法を説明する図である。

【図22】従来におけるデュアルダマシン法による半導体装置の製造方法を説明する図である。

【図23】従来におけるデュアルダマシン法による半導体装置の製造方法を説明する図である。

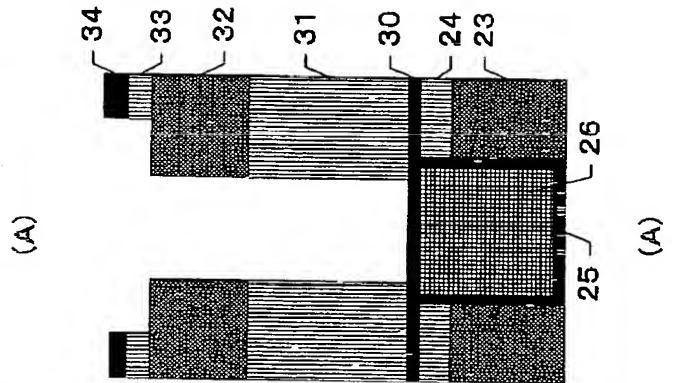
【図24】従来におけるデュアルダマシン法による半導体装置の製造方法を説明する図である。

【図25】不連続成長点の詳細を説明するための図である。

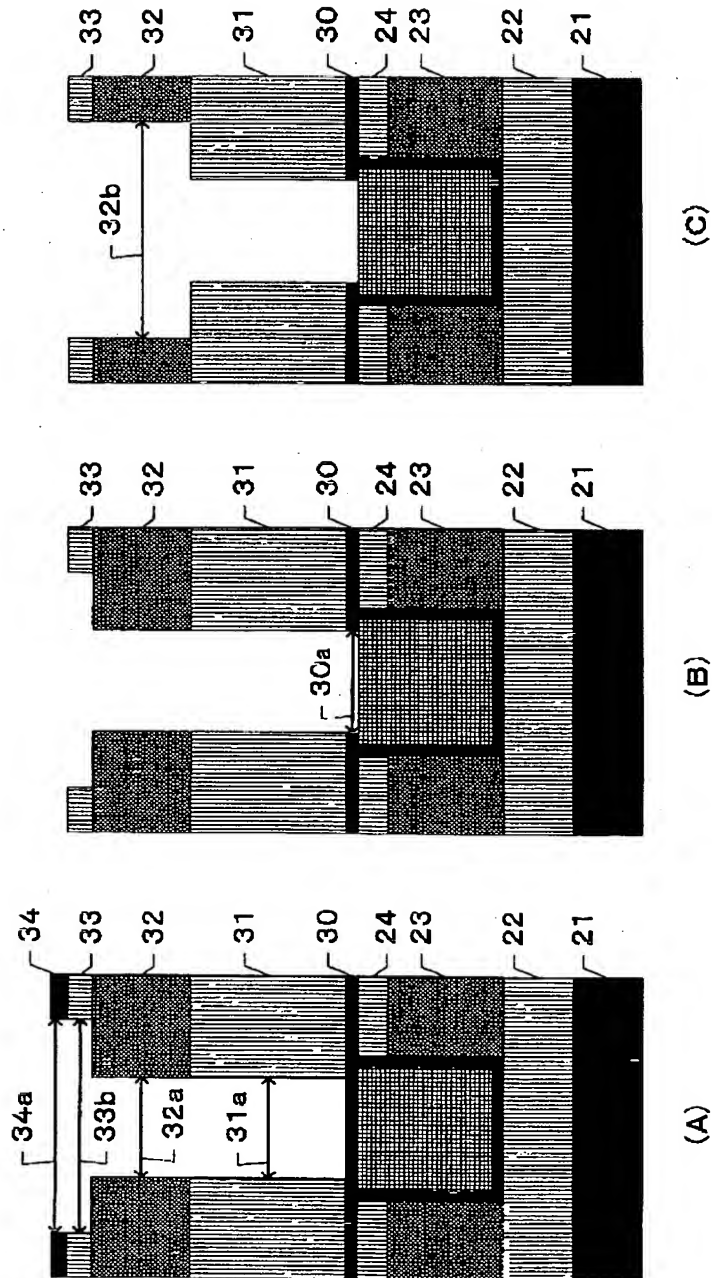
【符号の説明】

- 21 半導体基板
- 22 シリコン酸化膜
- 23 有機絶縁膜
- 24 シリコン酸化膜
- 25 バリアメタル膜
- 26 銅膜
- 30 窒化シリコン膜
- 31 シリコン酸化膜
- 32 有機絶縁膜
- 33 シリコン酸化膜
- 34 窒化シリコン膜
- 37 バリアメタル膜
- 38 銅膜
- 40 堀られ
- 41 ボーイング
- 43 酸化物
- 44 CF_xデポ物
- 60 有機絶縁膜
- 61 酸化シリコン膜
- 62 窒化シリコン膜
- 63 フォトリソグ膜
- 64 バリアメタル膜

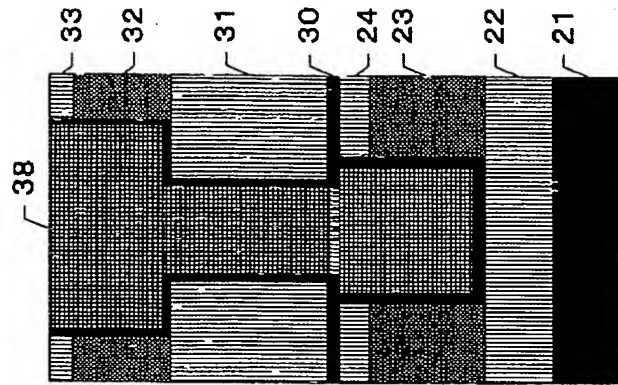
【図2】



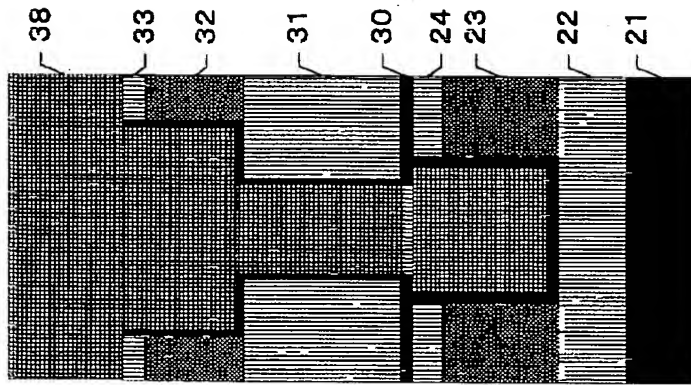
【図3】



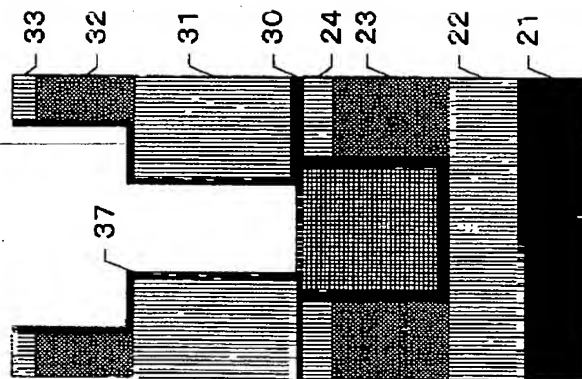
【図4】



(F)

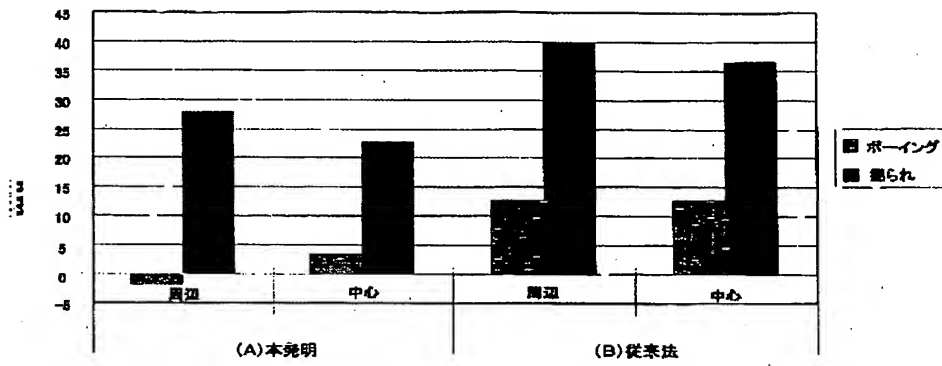


(E)

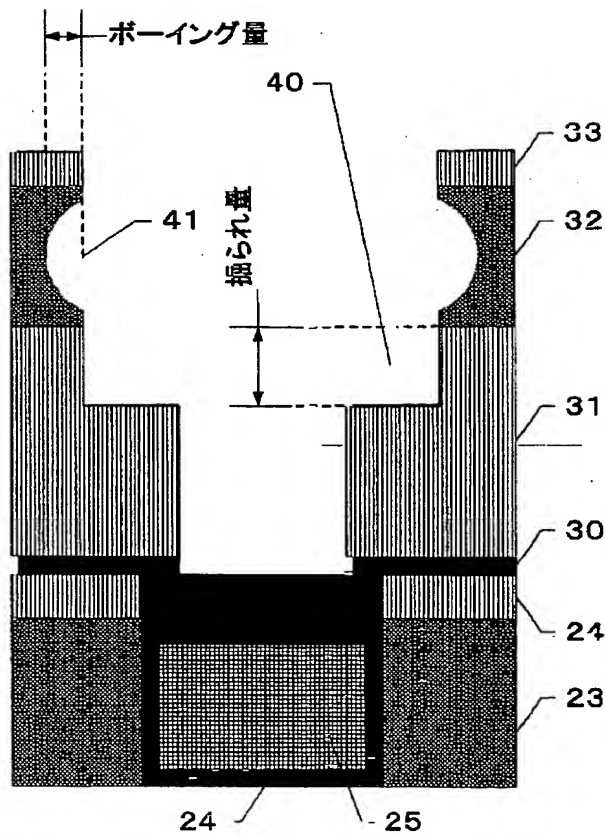


(D)

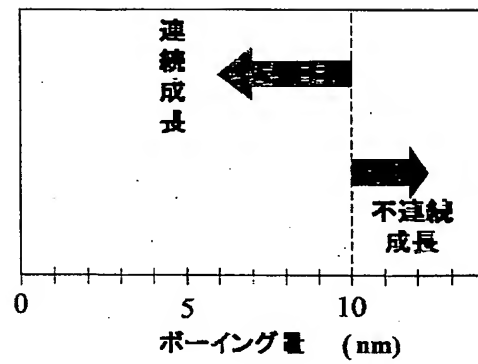
【図5】



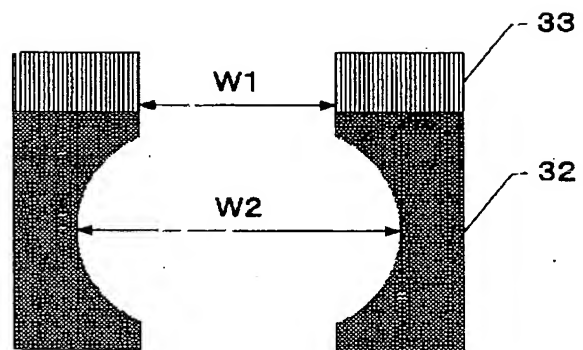
【図6】



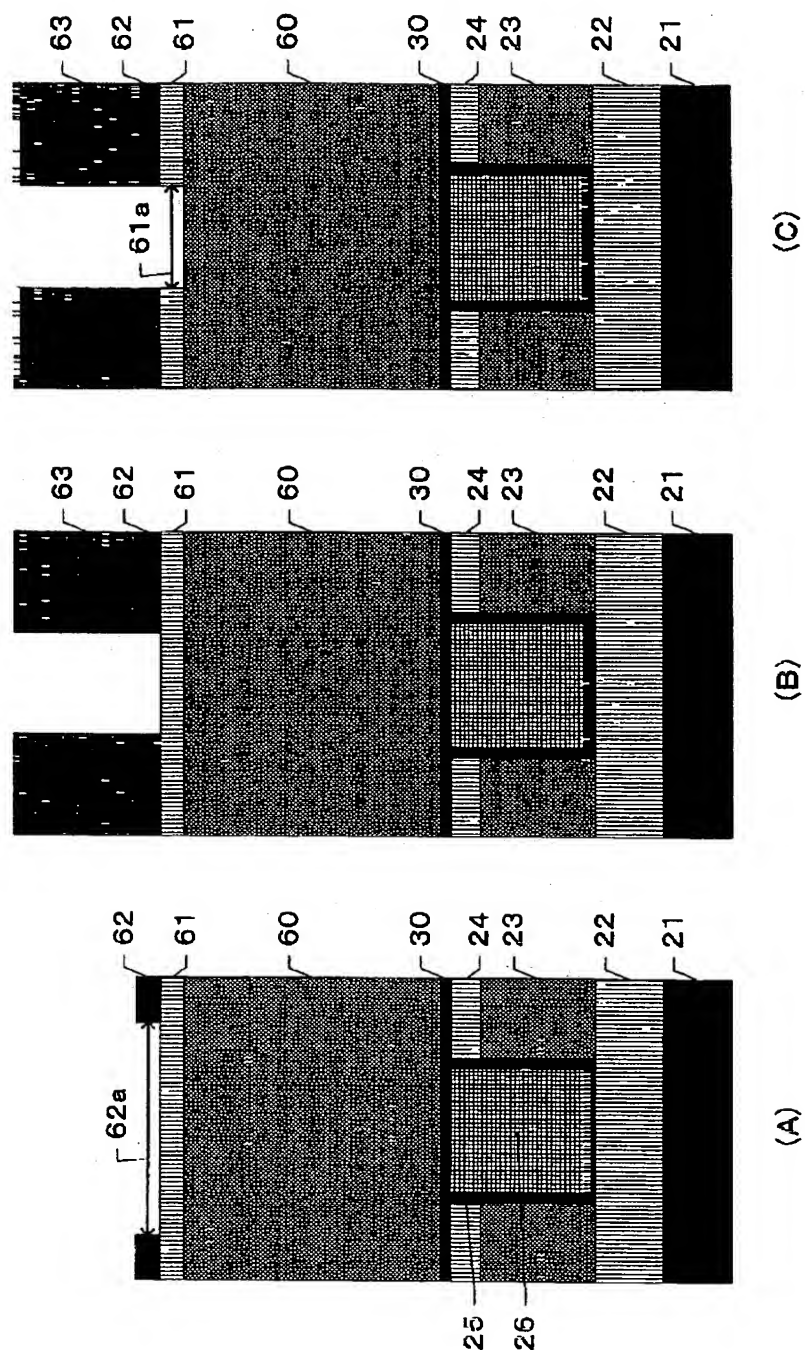
【図7】



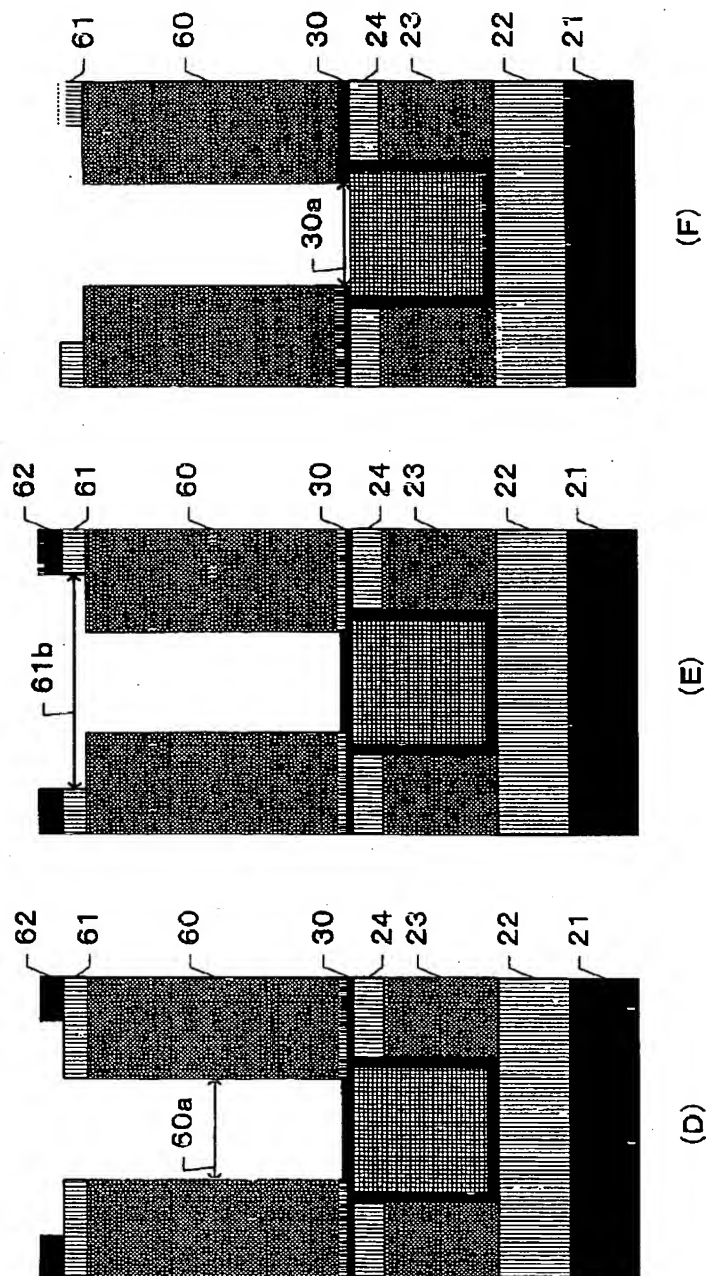
【図8】



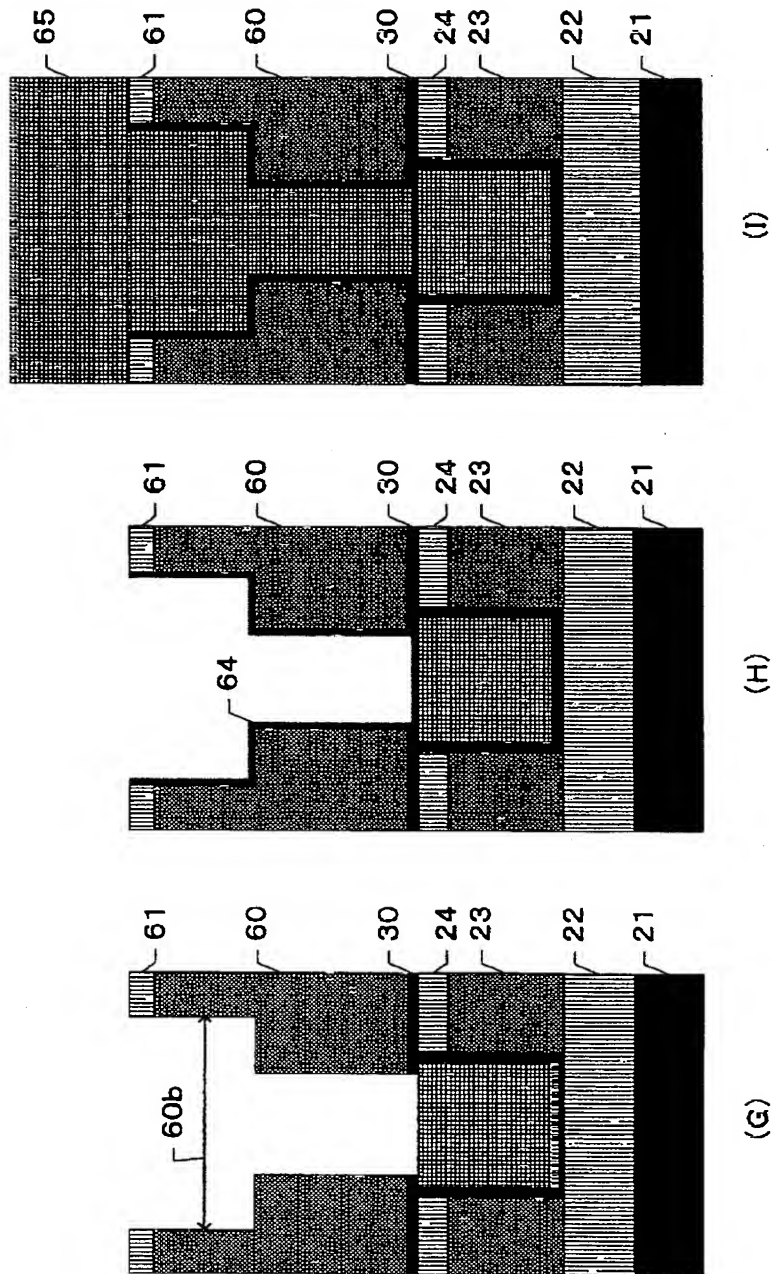
【図9】



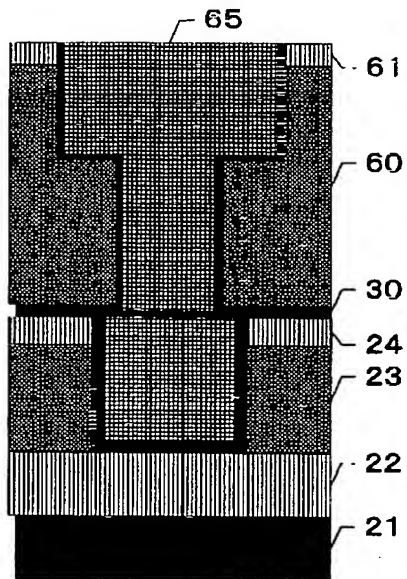
【図10】



【図11】

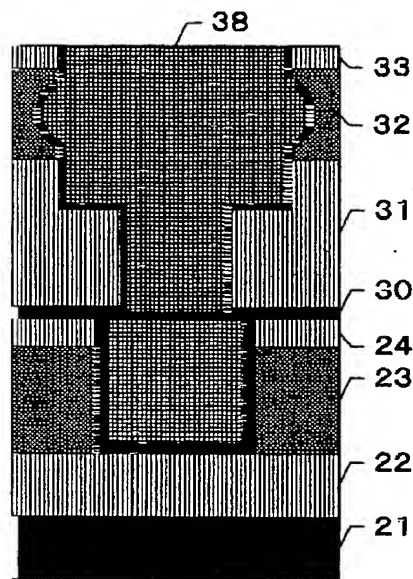


【図12】



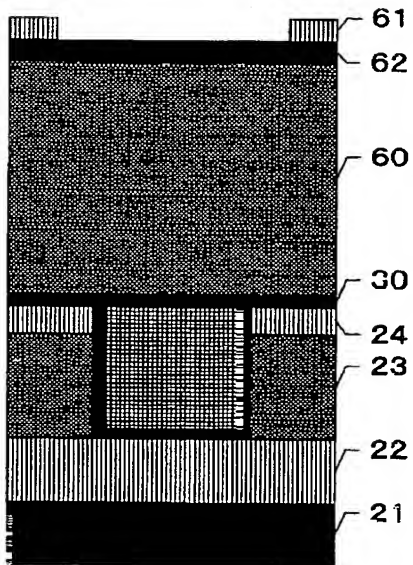
(J)

【図24】

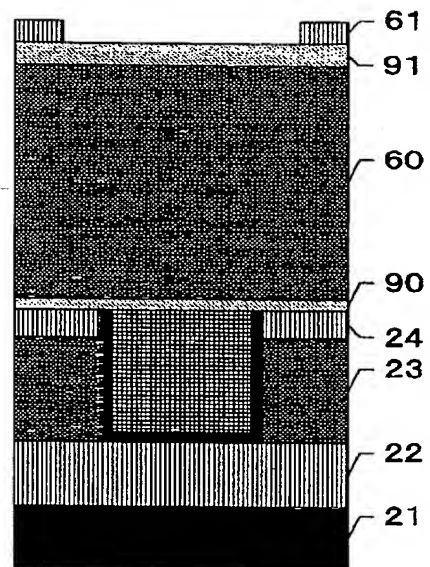


(M)

【図18】

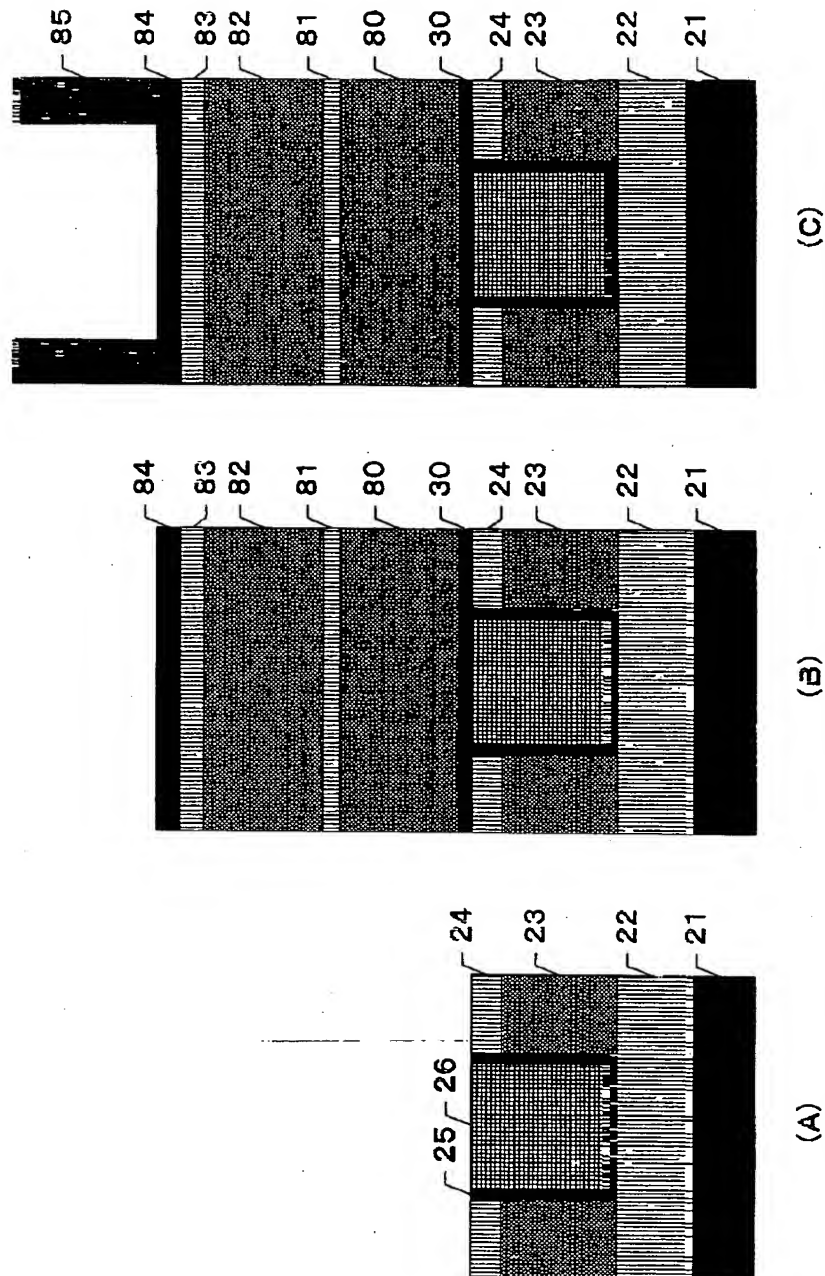


(A)

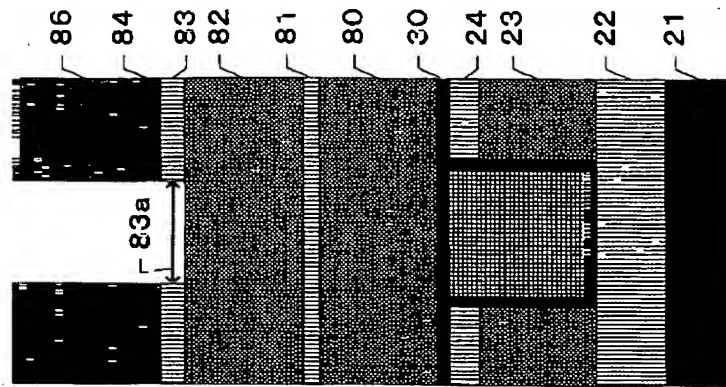


(B)

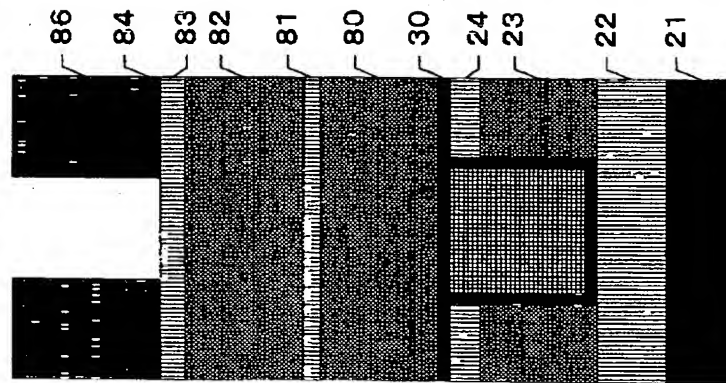
【図13】



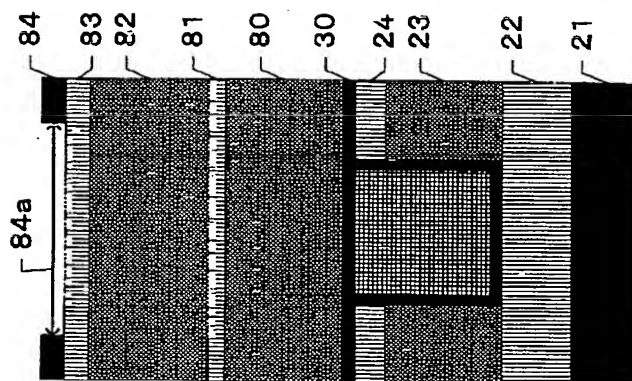
【図14】



(F)

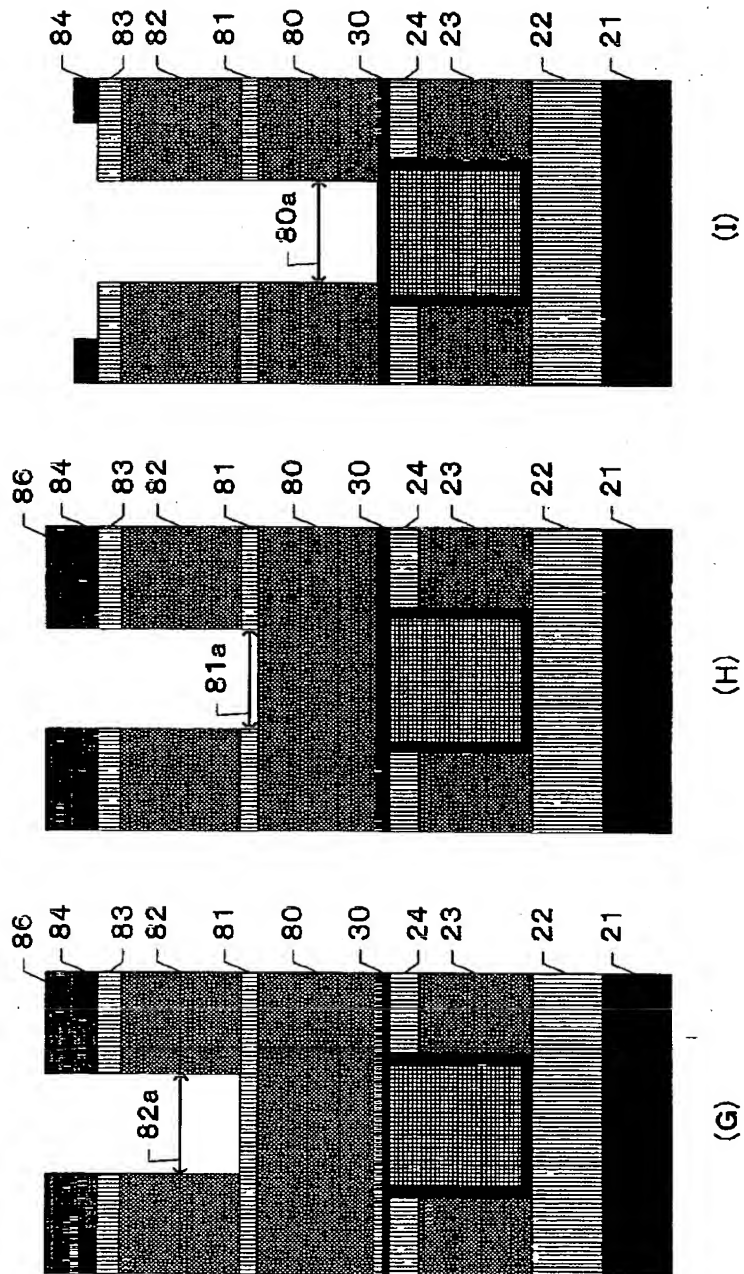


(E)

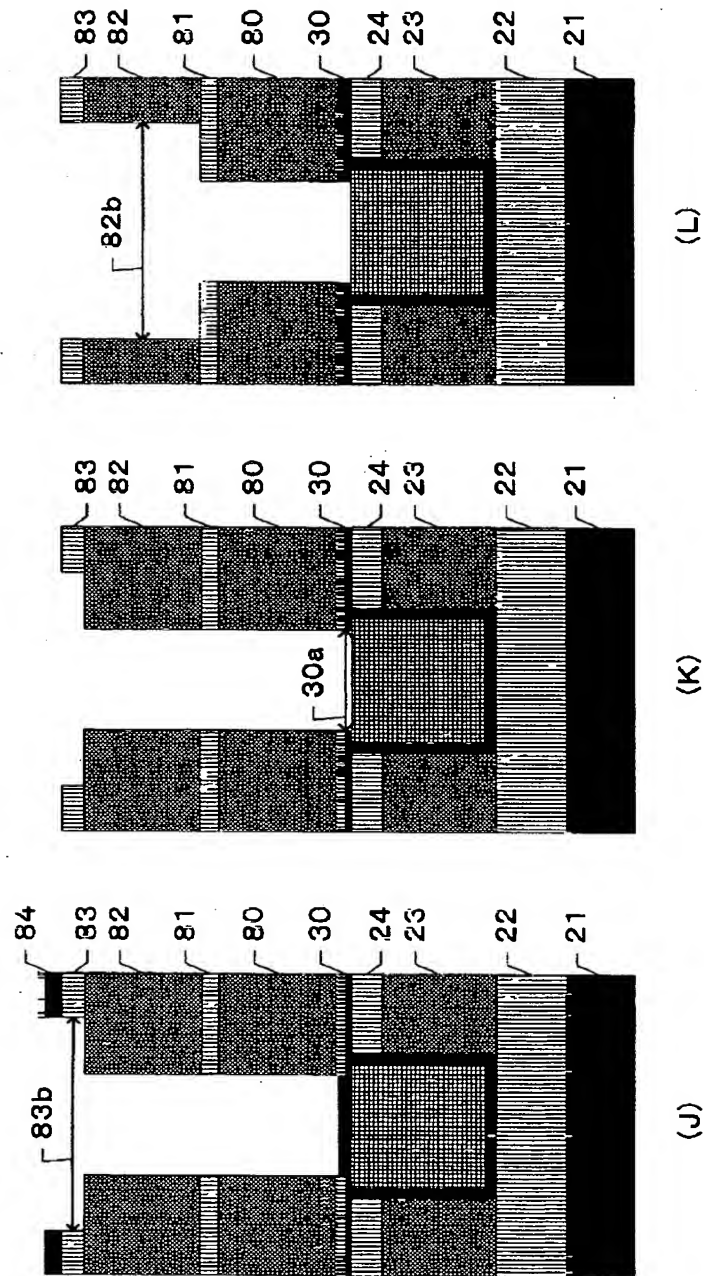


(D)

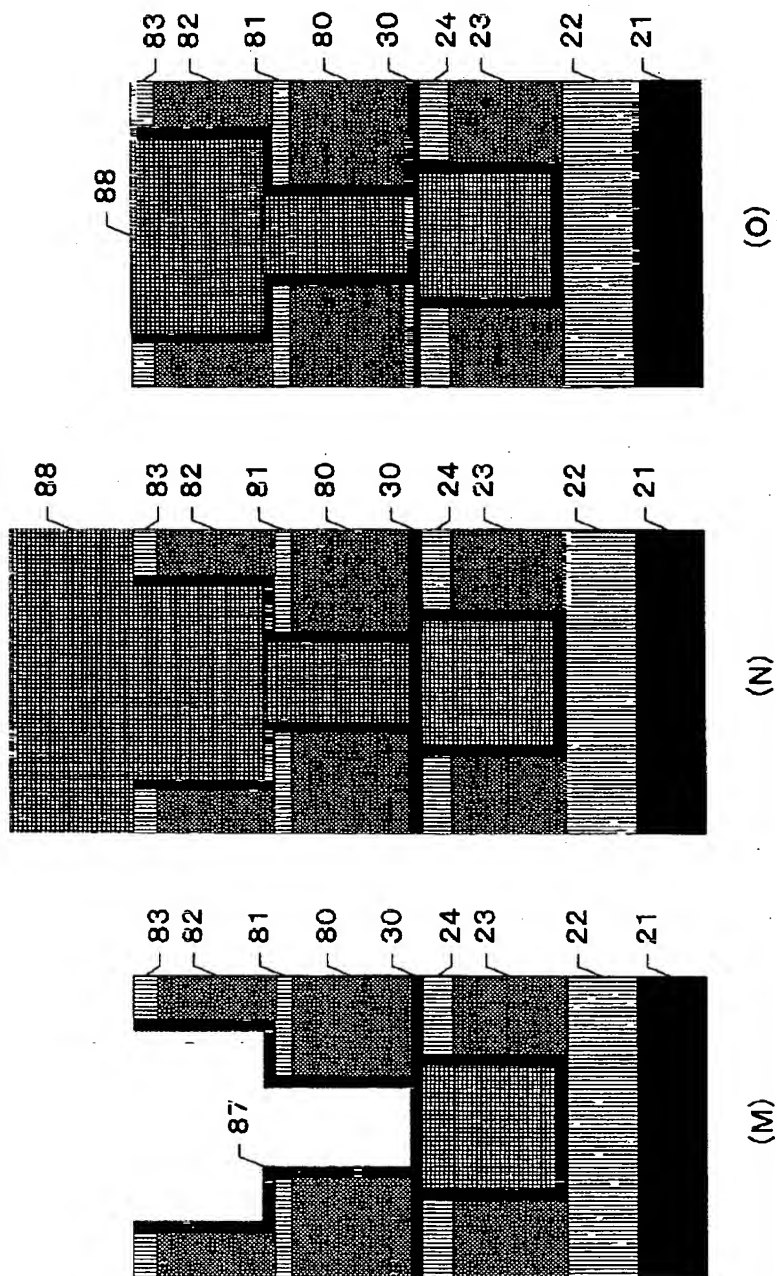
【図15】



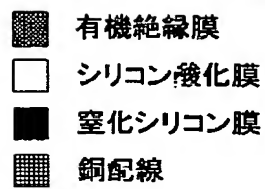
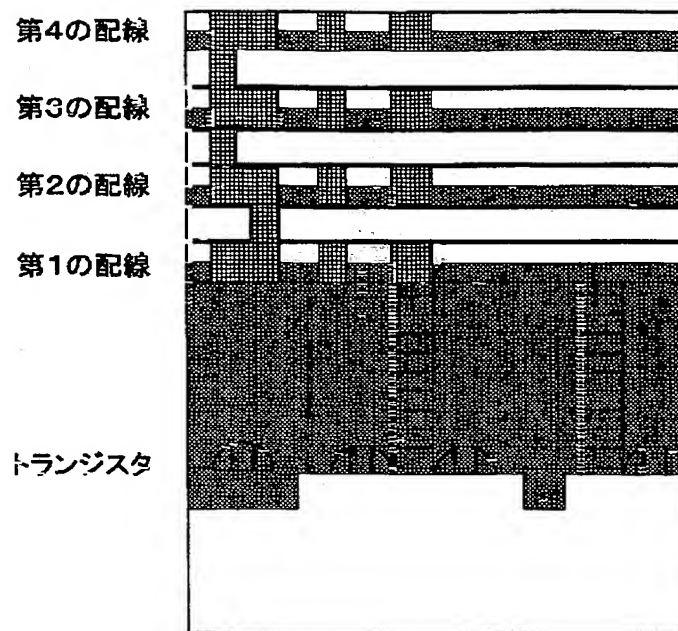
【図16】



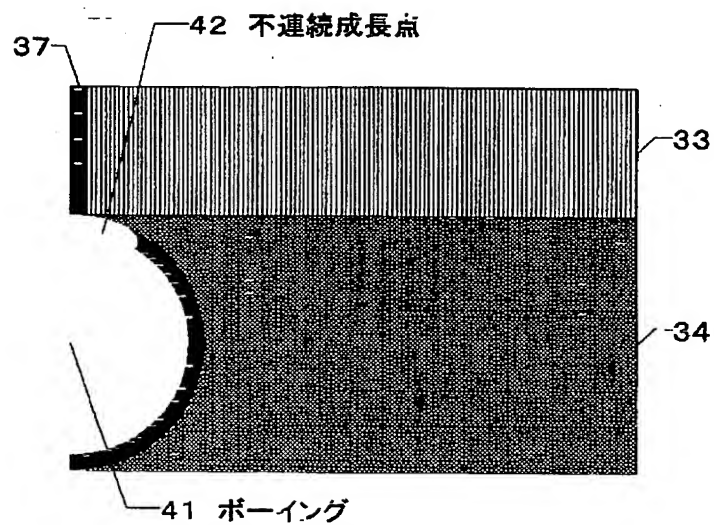
【図17】



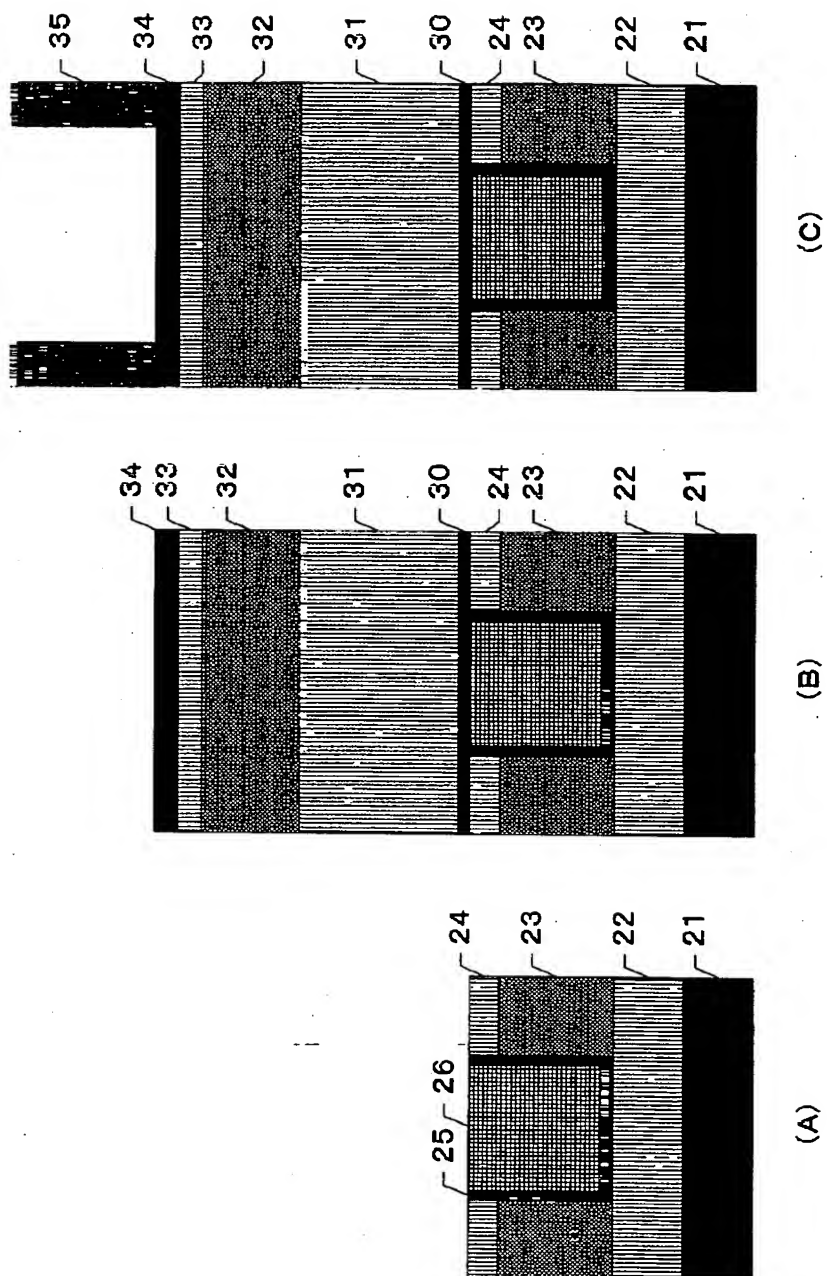
【図19】



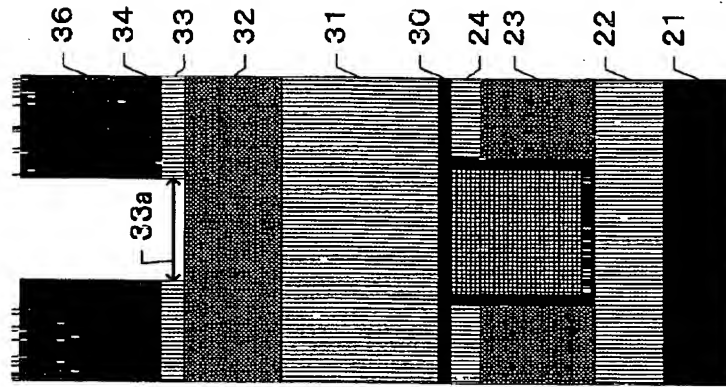
【図25】



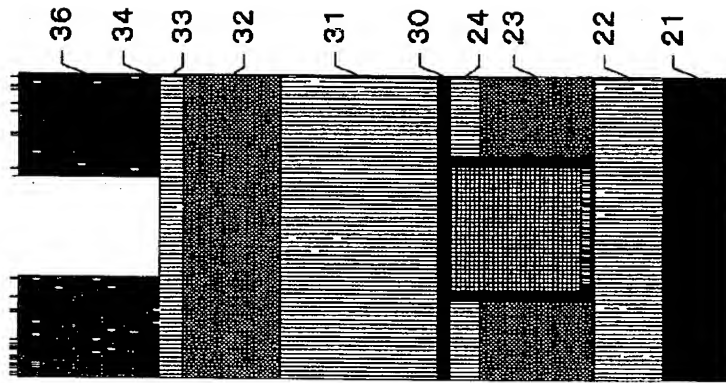
【図20】



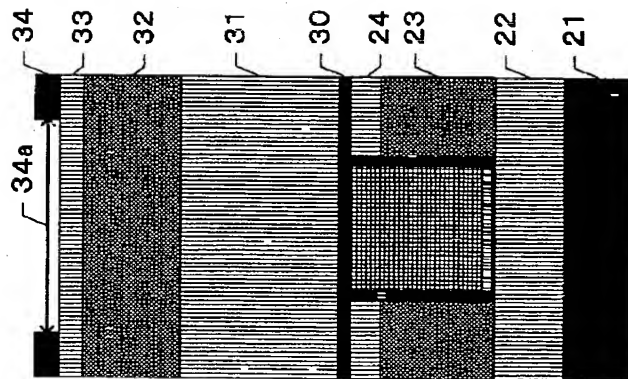
【図21】



(F)

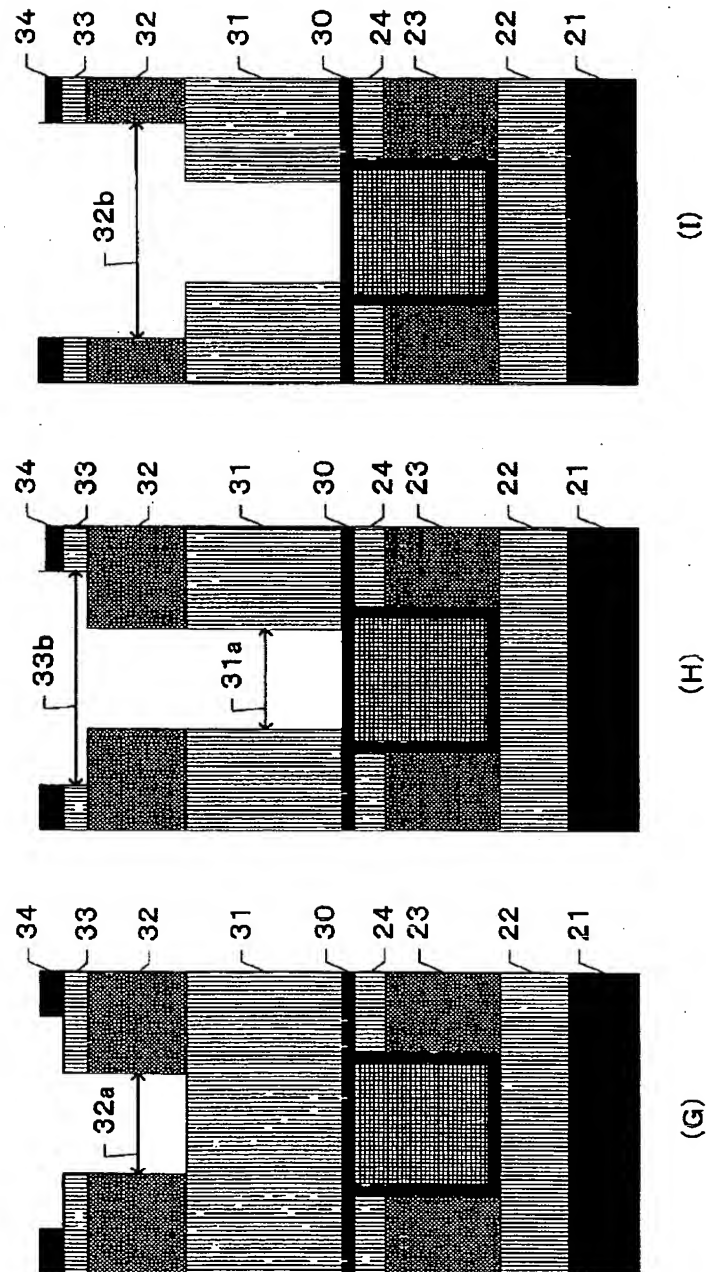


(E)

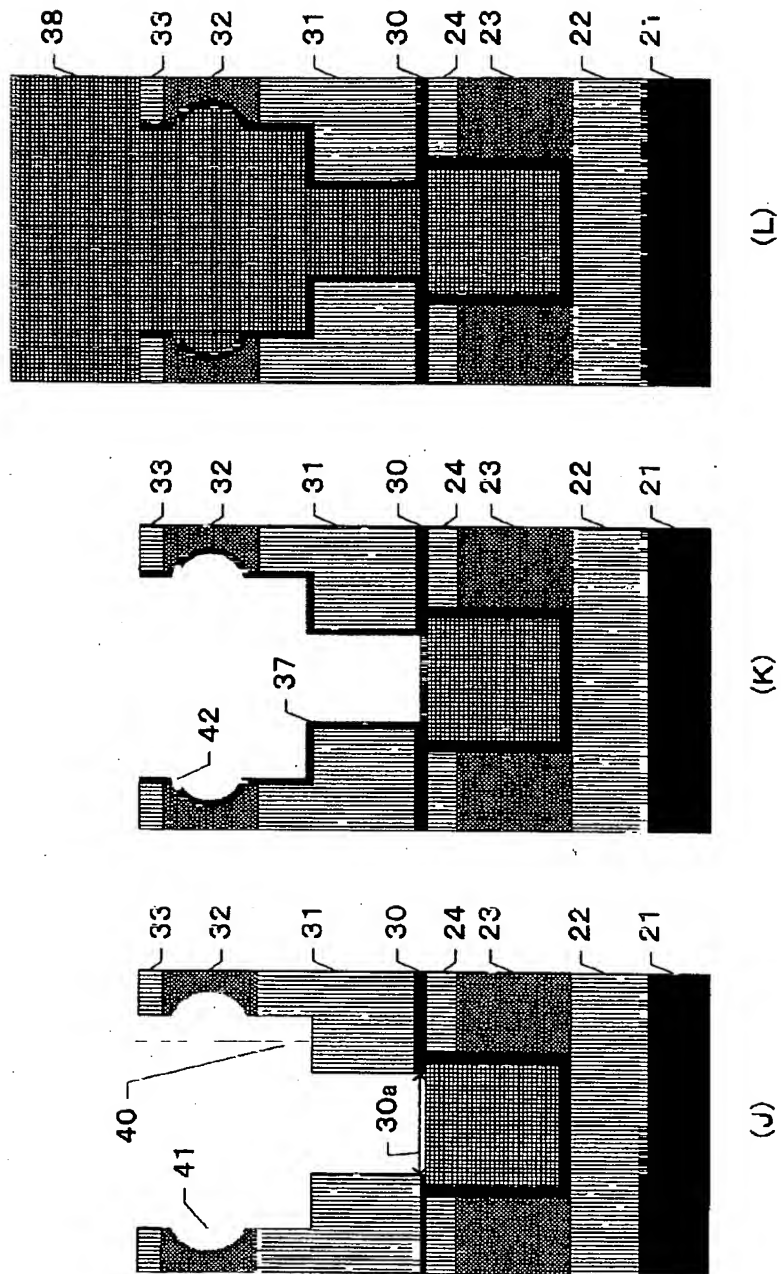


(D)

【図22】



【図23】



フロントページの続き

(72)発明者 稲沢 剛一郎
東京都港区赤坂5丁目3番6号 東京エレ
クトロン株式会社内

Fターム(参考) 5F004 AA14 AA16 DA00 DA24 DB23
EA23 EB01 EB03
5F033 HH11 HH32 HH33 JJ11 JJ32
JJ33 KK11 KK32 KK33 MM02
MM12 MM13 NN06 NN07 PP15
PP27 PP33 QQ09 QQ10 QQ12
QQ15 QQ28 QQ37 QQ48 QQ73
QQ92 QQ94 QQ95 RR01 RR02
RR04 RR06 RR09 RR21 RR25
TT04 XX02

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record.**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☒ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.